Elektronica en Telecommunicatie 9

Gemeenschappelijke publikatie van de
Sectie voor Telecommunicatietechniek van het K.I.v.I. en het
Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap.
Redactie-adres: Prinsessegracht 23, Den Haag.

URSI-Onderwerpen [1])

5. Zonsonderzoek aan boord van ruimtevoertuigen [2])

door dr. L. D. de Feiter, Sterrekundig Instituut van de Rijksuniversiteit te Utrecht



Summary: *Solar research from space vehicles.*
A survey is given of space research experiments in the field of solar physics, with special emphasis on the experiments carried out at the Space Research Laboratory of the Astronomical Institute of the University of Utrecht. These experiments deal with: photometry by means of proportional counters, heliography by means of Fresnel-zone plates, and spectrography by means of a special X-ray spectrograph in which the dispersing element is a cylindrical grating and the entrance slit is formed by a sieve-plate collimator.

1. Inleiding

De astronomische waarnemingen aan het aardoppervlak worden belemmerd door de aanwezigheid van de atmosfeer, en, voor zover het de waarneming van snelle, elektrische geladen deeltjes betreft, door de aanwezigheid van het magnetisch veld van de aarde. In deze voordracht zullen we ons beperken tot de elektromagnetische straling van de zon en zullen daarom voorbijgaan aan de complicaties vanwege het magneetveld op de waarneming van geladen deeltjes.

In fig. 1 is op een schematische wijze aangegeven hoe de absorptie in de atmosfeer van straling van uiteenlopende golflengte verloopt. Letten we vooreerst op de zgn. vensters; de gebieden waarvoor de atmosfeer transparant is. Het radiovenster strekt zich uit over de golflengten van enkele tientallen meters (afhankelijk van de zonne-activiteit) tot enkele millimeters. Het venster in het zichtbare deel van het spectrum loopt van ongeveer 3000 Å tot enkele tientallen µm. Het tussenliggende gebied, het infrarode en microgolfgebied, is nog weinig verkend, hoewel in dit gebied al met stratosfeerballonnen, op een hoogte van 30 à 40 km, waarnemingen verricht kunnen worden. Het probleem zit hier in het ontbreken van passende detectoren; zonder twijfel zal het zoeken van goede meetmethoden voor dit gebied beloond worden met interessante ontdekkingen. Voor het golflengtegebied beneden 3000 Å ziet het er voor grondwaarnemingen uiterst somber uit; met ballonnen is de harde straling (golflengte kleiner dan 0,5 Å, of foton-energie groter dan 20 keV) nog wel waar te nemen, maar voor waarneming van andere delen van het spectrum moet men gaan naar hoogten waar alleen de raket als voertuig gebruikt kan worden, en daarmee betreedt men dan het terrein van het ruimteonderzoek.

Het golflengtegebied beneden 3000 Å, het ultraviolet- en röntgengebied (tegenwoordig vaak aangeduid met de Amerikaanse afkorting XUV) is gedurende de laatste decennia uitvoerig onderzocht, met steeds geavanceerder technieken. In het volgende zullen we een drietal experimenten bespreken, alle van het Laboratorium voor Ruimteonderzoek in Utrecht, die enigszins representatief geacht kunnen worden voor de ontwikkeling van het ruimteonderzoek van de zon.

Fotometrie in het röntgengebied

Een eerste type experimenten voor de verkenning van een nieuw golflengtegebied vindt men op het terrein van de fotometrie: de meting van de hoeveelheid straling die van de betreffende bron, in ons geval de zon, wordt ontvangen in een nog betrekkelijk ruw afgebakend golflengtegebied. De enige eis die men dan aan het ruimtevoertuig stelt is dat men gedurende een redelijke fractie van de waarnemingstijd straling op de detector heeft ontvangen van de zon, en dat men die fractie ook kan vaststellen. De raket, of de satelliet, mag om een as draaien.

Als detector wordt in dit geval een proportionele telbuis gebruikt; de combinatie van het filter voor het intree-venster en de gasvulling zorgt voor de gewenste golflengteselectie. Meestal

[1]) Voordrachten gehouden tijdens de 199e werkvergadering van het NERG op 22 november 1968 te Eindhoven. Zie voor deel 1 *De Ingenieur* 1969, nr. 20, blz. ET 80, voor deel 2 *De Ingenieur* 1969, nr. 24, blz. ET 89, voor deel 3 *De Ingenieur* 1969, nr. 28, blz. ET 114, voor deel 4 *De Ingenieur* 1969, nr. 32, blz. ET 121.

[2]) Manuscript ontvangen 6 maart 1969.

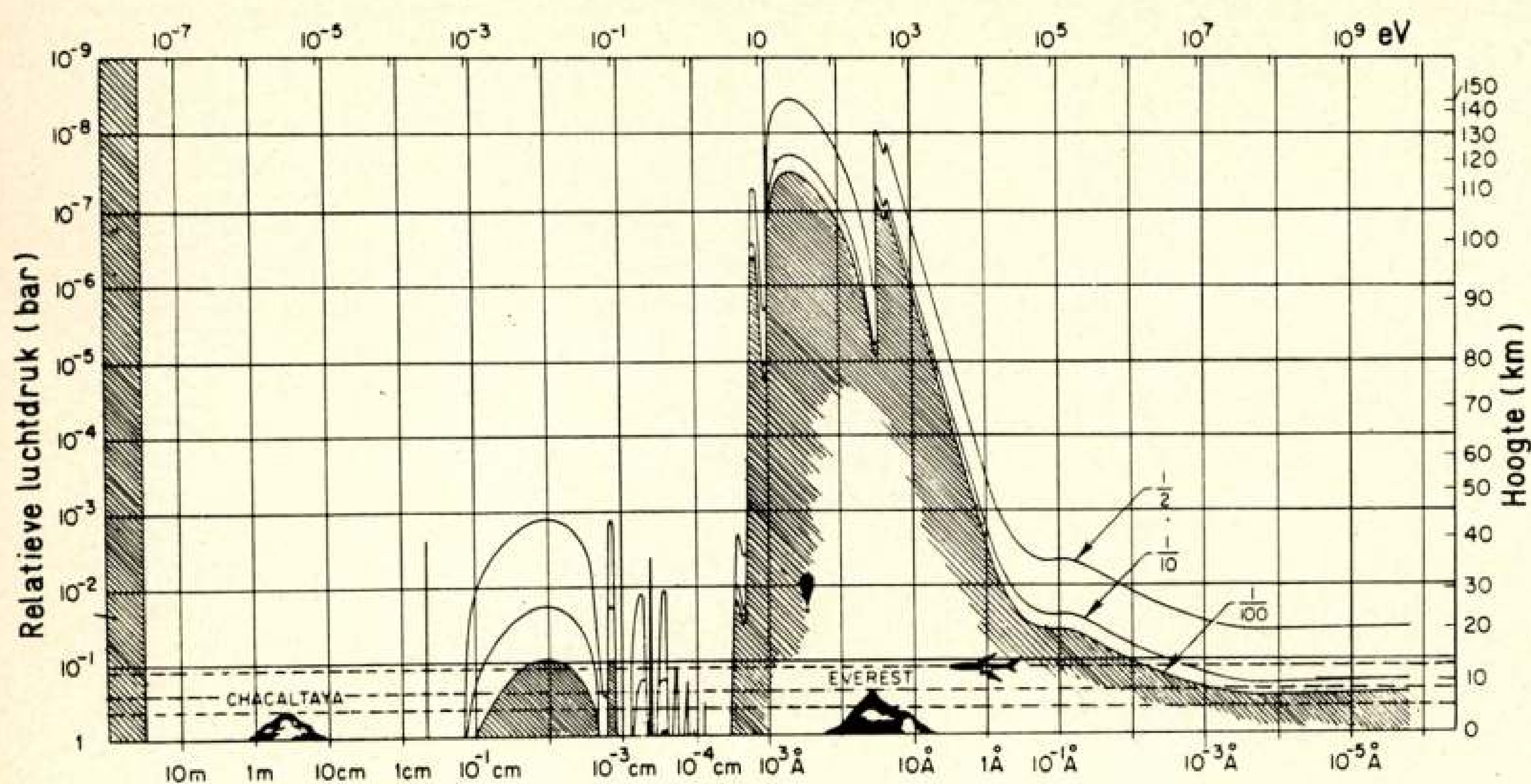


Fig. 1. De verzwakking van elektromagnetische straling in de aardatmosfeer. In de figuur zijn krommen getekend voor verzwakking tot resp. 50%, 10% en 1% van de aan de rand van de atmosfeer invallende stralingsstroom.

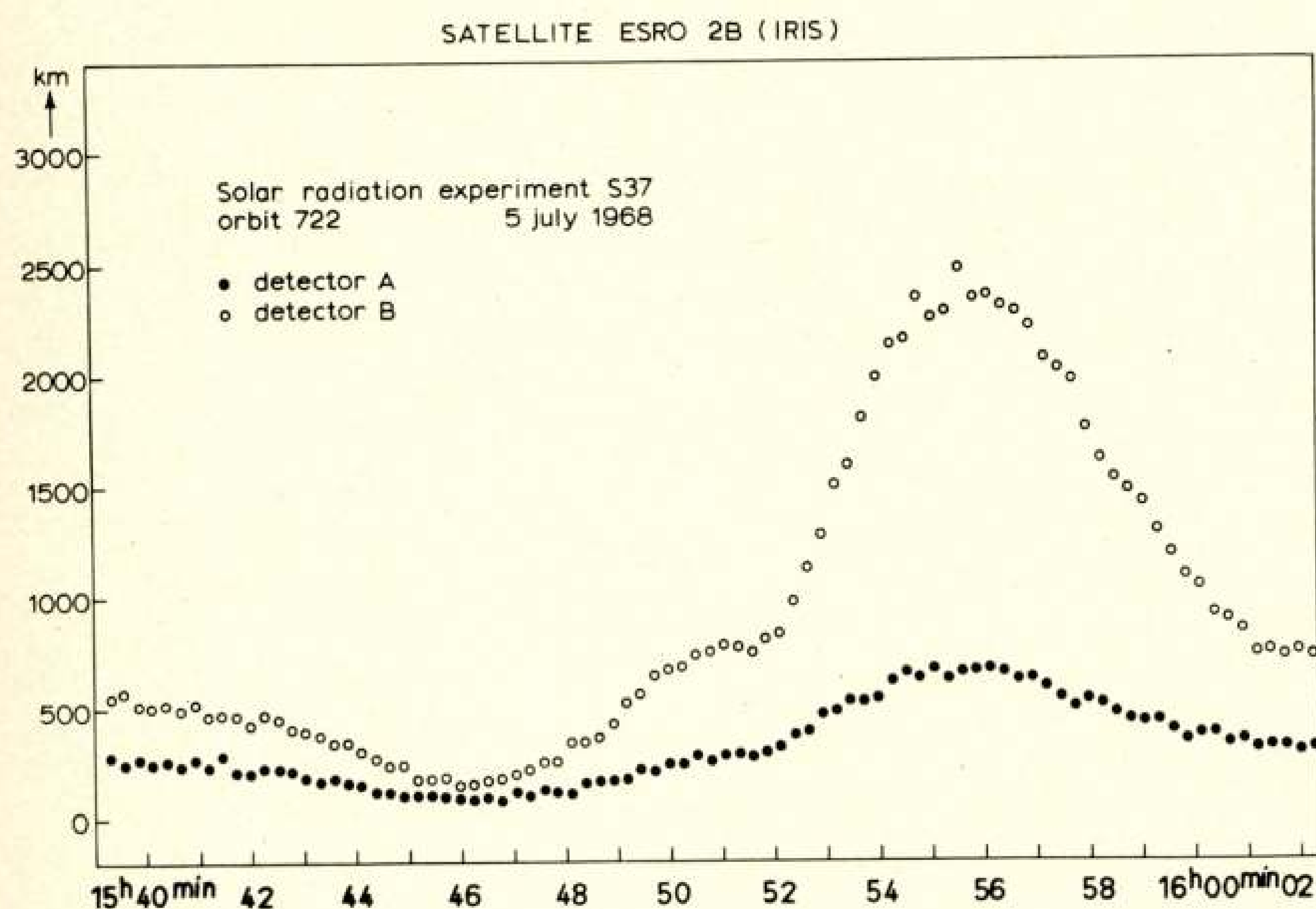


Fig. 2. Variatie met de tijd van de zonneflux in het golflengtegebied van 44 ... 65 Å, zoals gemeten aan boord van de satelliet ESRO II (Iris) met de fotometer van het Laboratorium voor Ruimteonderzoek in Utrecht. Het diagram vertoont een inzinking van de gemeten flux, als gevolg van een gedeeltelijke verduistering door de aardatmosfeer, en een toeneming samenhangend met een zonnevlam.

vertoont de spectrale gevoeligheid van een dergelijke teller een tweetal pieken, die door elektronische pulshoogte-analyse geïdentificeerd kunnen worden; bijv. een teller met een venster van Mylar en een vulling van helium vertoont een maximale gevoeligheid rond 10 Å en een tweede gebied tussen 44 en rond 60 Å.

Als bijprodukt van een dergelijk experiment kan men ook de transmissie van de atmosfeer voor het betreffende golflengtegebied meten. Bij een raketexperiment behoeft men daartoe alleen te zorgen dat men vroegtijdig tijdens de opstijging met de meting begint; bij een satellietexperiment moet men een situatie afwachten waarbij de verbindingslijn van de satelliet naar de zon op geringe hoogte door de atmosfeer gaat. Deze meting is van bijzonder belang voor de studie van de *lage* ionosfeer, de lagen tussen 100 en 150 km hoogte. Voor de meting van dichtheidsvariaties op die hoogten kan men geen gebruik maken van satellieten; hiervan is namelijk – als gevolg van de grote dichtheid – de levensduur te kort.

Vooral de continue fotometrie van de zon, met instrumenten aan boord van satellieten, is een belangrijke meting in verband met de bewaking van de zonne-activiteit. Tijdens het zonnevlekkenmaximum treden vele zonnevlammen op, waarvan het gedrag onderling sterke verschillen vertoont. De meting van de röntgenstraling van een zonnevlam helpt bij de interpretatie van het verschijnsel.

De twee zoëven besproken aspecten van de röntgenfotometrie vindt men geïllustreerd in fig. 2. Hierin is uitgezet de stralingsintensiteit van de zon in het golflengtegebied 44 ... 65 Å, zoals gemeten met het Utrechtse instrument aan boord van de eerste Europese satelliet ESRO II op 5 juli 1968. Om 15.46 UT verdwijnt de zon, van de satelliet uit gezien, gedurende korte tijd gedeeltelijk achter de atmosfeer (een gedeeltelijke verduistering van de röntgenzon), en 10 min later is er een grote zonnevlam, waarbij de stralingsstroom de normale waarde met een factor van bijna 5 overtreft.

Afbeeldingen van de zon in röntgenlicht

Voor golflengten beneden 1000 Å is een optische afbeelding door middel van lenzen niet meer mogelijk als gevolg van de grote absorptie van de straling in het optische systeem. Beneden 500 Å kan bovendien niet meer gebruik gemaakt worden van spiegels met normale reflectie. Hoewel tegenwoordig *spiegel*systemen gebouwd worden, waar gebruik wordt gemaakt van de 'totale' reflectie bij scherende inval van röntgenstraling, worden ook *transmissie*systemen verder beproefd.

De meest voor de hand liggende methode om een röntgenbeeld van de zon te ontwerpen werd in 1960 door de groep van Friedman in Amerika toegepast. De camera was in dit geval een klassieke 'camera obscura': een gesloten doos met aan de achterkant de fotografische plaat en in de voorwand een minuscuul gaatje met een diameter van 0,125 mm. Om te zorgen dat geen zichtbaar en ultraviolet licht op de fotografische plaat kon komen werd het gaatje afgedekt met een Parlodionfilm waarop een zeer dun laagje aluminium was gedampt. Op deze wijze werd een foto van de zon verkregen in het licht met golflengten tussen 20 en 60 Å.

Een verbetering van de gaatjescamera is de camera waarbij het gat is vervangen door een Fresnel-zoneplaat: een cirkelvormig concentrisch patroon van afwisselend transparante en ondoorlatende zones, waarbij van een punt op de as (het brandpunt) gezien het weglengteverschil voor een tweetal opeenvolgende doorlaatzones juist één golflengte bedraagt (zie fig. 3). Voor een golflengte λ en een brandpuntsafstand f zijn de stralen (r) van de cirkels uit het patroon: $r_n = (fn\lambda)^{\frac{1}{2}}$. Uit de verdere theorie van de afbeelding met een dergelijke 'buigingslens' volgt dat het oplossend vermogen in het brandvlak gelijk is aan de breedte d_n van de buitenste transparante ring.

Voor een zoneplaat met 50 transparante ringen en een brandpuntsafstand van 40 cm, bestemd voor een golflengte van 50 Å is dan het oplossend vermogen in het brandvlak ongeveer 2 μm, hetgeen bij die brandpuntsafstand overeenkomt met een hoekoplossend vermogen van ongeveer 1 boogseconde; de 'lichtsterkte' van deze camera komt overeen met die van een gaatjescamera met een diameter van de opening van 0,22 mm; het oplossend vermogen van de gaatjescamera is echter bijna 2 boogminuten. Het is duidelijk dat een camera met een buigingslens verre superieur is aan een camera met het simpele gaatje!

Nog afgezien van de moeilijkheden bij de fabricage van deze minuscule zoneplaatjes-'objectieven' – de diameter van het plaatje is nog geen millimeter – levert het gebruik van de zoneplaat verdere typische moeilijkheden op, waardoor de foto's die ermee verkregen zijn nog nauwelijks kunnen concurreren met die, verkregen met de simpele 'camera obscura'. Een foto, opgenomen met het Utrechtse experiment tijdens een raketvlucht boven White Sands (New Mexico) op 3 oktober 1967 (fig. 4), laat het hier bedoelde effect duidelijk zien. De bijna puntvormige activiteitsgebieden, bijv. het gebied rechts op de foto iets onder het midden, zijn omgeven door een aureool van aanzienlijke afmetingen. Deze aureool is een schaduwbeeld (eigenlijk doorlatingsbeeld) van het zoneplaatje zelf, en zij ontstaat door de straling die ongebogen door de transparante zones passeert. Men kan de hinder van dit zgn. nulde-orde-beeld aanzienlijk reduceren door te zorgen dat het zonsbeeld juist gevormd wordt in de schaduw van een centrale schijf. Deze schijf zal daartoe groter moeten zijn dan de normale centrale schijf; het oplossend vermogen en ook de lichtsterkte zullen daardoor, vergeleken bij de ideale zoneplaat, natuurlijk minder worden, maar het wegwerken van het nulde-orde-beeld weegt daar ruim tegen op. Overigens wordt het oplossend vermogen van het gehele systeem niet beperkt door de optiek maar door de korrel van de fotografische plaat; de gemiddelde grootte van de korrels op de foto's van 3 oktober 1967 was ongeveer 20 μm.

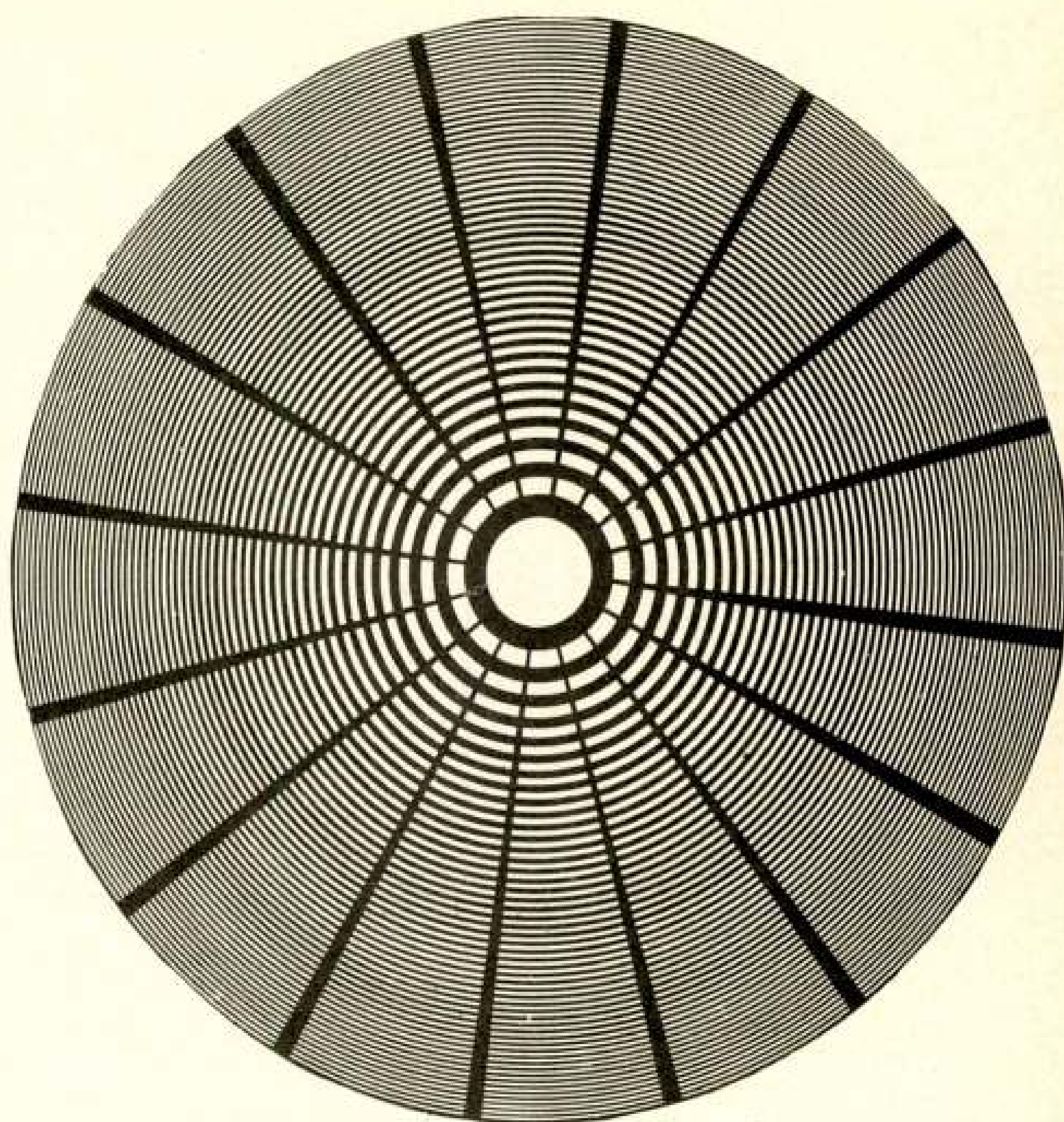


Fig. 3. Vergrote afbeelding van een zoneplaat voor het maken van foto's van de zon in röntgenlicht. De radiale structuren zijn voor het verkrijgen van voldoende stevigheid. De diameter van de zoneplaat bedraagt in werkelijkheid 0,45 mm.

Bij een volgende lancering van het instrument, die in 1970 in het programma van ESRO zal plaatsvinden, zal een geapodiseerde zoneplaat (waarbij de centrale zones dichtgelaten zijn) worden gebruikt, terwijl tevens een betere selectie van het golflengtegebied door voordispersie zal worden toegepast.

Spectroscopie van de zon in röntgenlicht

Voor het verkrijgen van een spectrum met een goed oplossend vermogen in golflengte is het nodig dat het licht dat de spectrograaf binnentreedt beperkt wordt door een nauwe ingangsspleet. Het is hiervoor niet nodig dat op het spleetvlak een goed gefocusseerd zonsbeeld wordt ontworpen, hoewel dat gebruikelijk is voor spectrografen voor het zichtbare spectrumgebied. Men kan ook een selectie naar richting maken door het licht te laten passeren door een zgn. collimator, die in het hier te beschrijven instrument bestaat uit een stel plaatjes, op regelmatige afstand van elkaar, voorzien van een patroon van regelmatig gerangschikte rechthoekige spleten (zie fig. 5). De twee uiterste plaatjes staan 280 mm uit elkaar en de afmetingen van de spleten zijn 50 bij 300 μm; voor de centrale spleet geeft dit een begrenzing van de ruimtehoek waarbinnen de straling tot de spectrograaf kan doordringen van 0,5 bij 3 boogminuten. Men moet nu zorgen dat door de centrale spleet van het onderste plaatje alleen straling kan komen die ook door de centrale spleet van het bovenste plaatje is gegaan. Dit kan gebeuren door op de halve afstand een plaatje met hetzelfde patroon te plaatsen en evenzo op afstanden $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, enz. Op deze wijze kan men zorgen dat alleen de richtingen binnen een zeer nauwe kegel worden uitgezeefd, vandaar de naam 'zeefplaatcollimator'. Door elk van de spleten komt dus straling

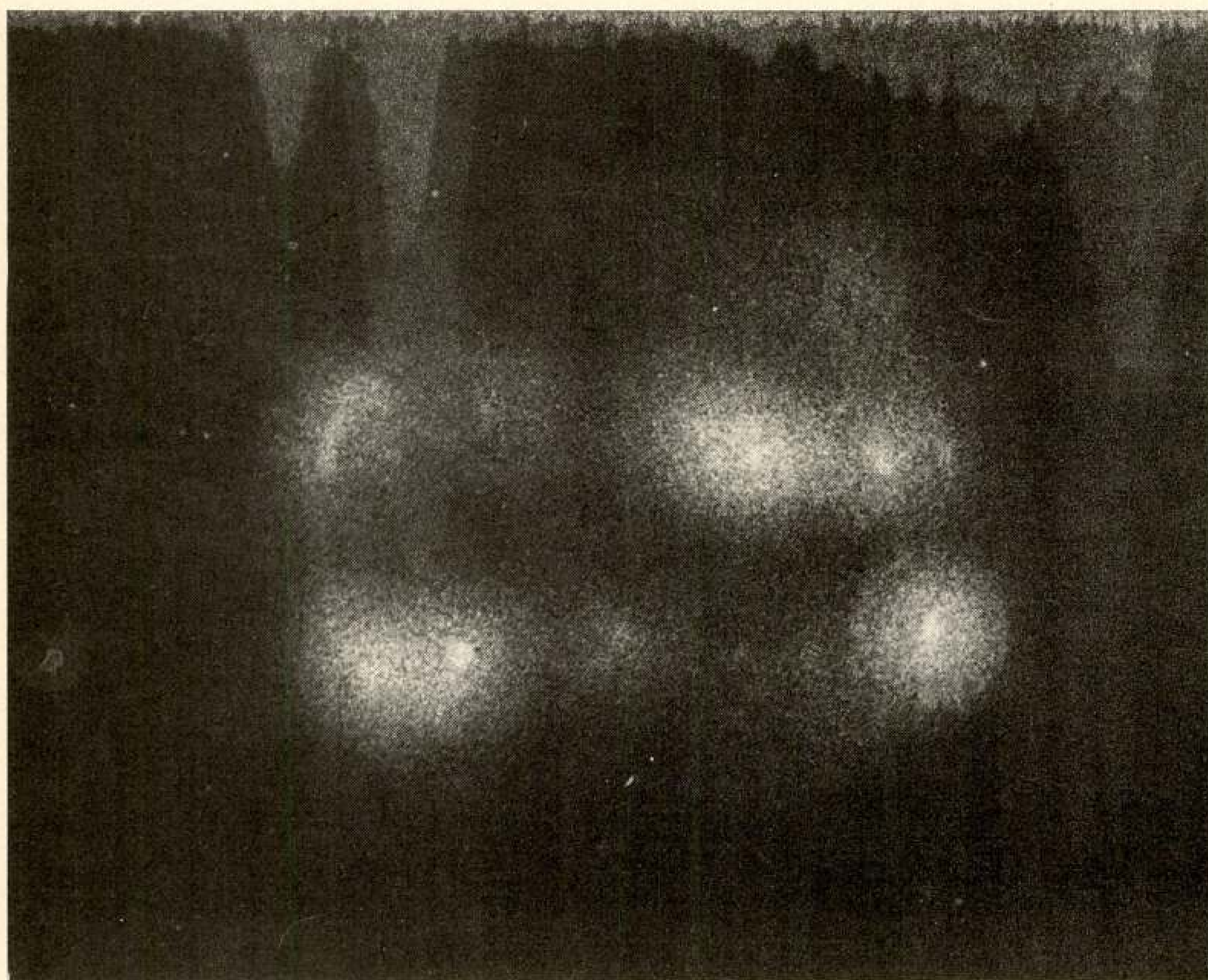


Fig. 4. Foto van de zon in het licht van een spectraallijn van achtmaal geïoniseerd silicium bij 51 Å, opgenomen met een Fresnel-zoneplaatcamera tijdens een raketvlucht boven White Sands (New Mexico) op 3 oktober 1967. Vrijwel alle straling die de zon bij deze golflengte uitzendt komt van de activiteitscentra, gegroepeerd in twee gordels aan weerszijden van de equator.

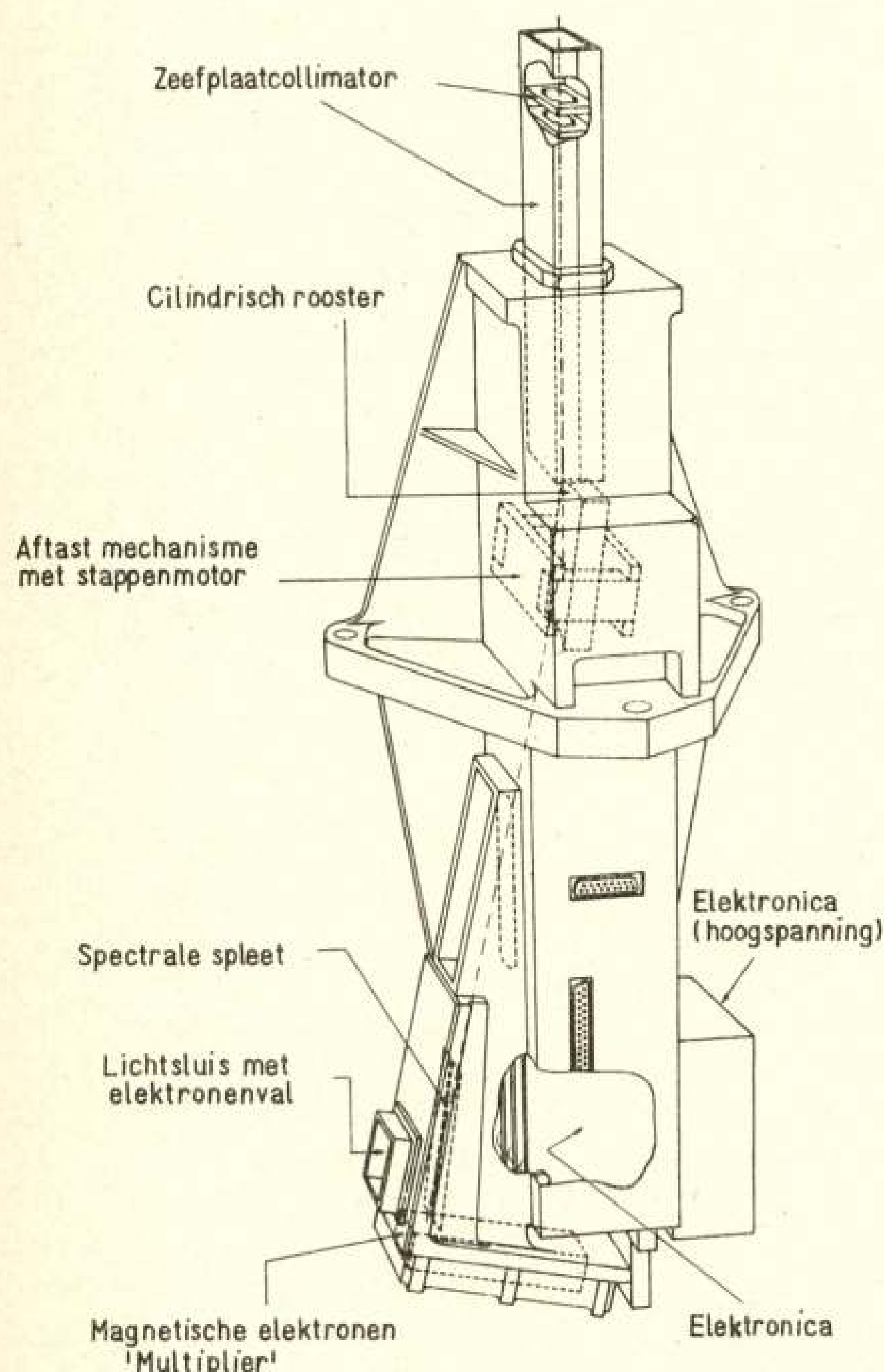


Fig. 5. Schema van de zonnespectrograaf voor röntgenlicht.

afkomstig van deze nauwe kegel; de lichtsterkte van dit systeem is dus aanzienlijk groter dan van een collimator bestaande uit twee plaatjes op dezelfde afstand uit elkaar en elk voorzien van één enkele spleet.

Ten aanzien van het dispergerende element van de spectrograaf geldt de opmerking van de voorgaande paragraaf, dat we in dit röntgen-golflengtegebied alleen maar efficiënt kunnen werken met een reflectierooster waarbij het licht scherend invalt. In dit geval is een zeer bijzonder type rooster toegepast; de lijnen zijn gekrast op een holle cilinder en wel in een richting evenwijdig aan de as van de cilinder. Ook het licht valt vrijwel evenwijdig aan de as in. Het spectrum vertoont lijnen evenwijdig aan de collimatorspleet; wanneer nu het rooster wordt gedraaid om de cilinderas dan verplaatst zich het spectrum evenwijdig over de uittredespleet.

In het instrument dat op 22 november 1968 van de ESRO-basis in Sardinië is gelanceerd, is het spectraalgebied tussen 40 en 60 Å opgenomen in derde orde, met een oplossend vermogen van ongeveer 0,5 Å. De resultaten, die nog niet volledig zijn geanalyseerd, wijzen erop dat mogelijk ook licht van naburige orden, nl. 60 tot 120 Å in de tweede, en 120 tot 180 Å in de eerste orde, tot de gemeten intensiteiten heeft bijgedragen. Op het programma staat een herhaling van dit experiment, waarbij speciaal het bedoelde spectraalgebied in de eerste orde zal worden gemeten.

Slotopmerkingen

Het is ondoenlijk om in dit korte bestek alle aspecten van het ruimteonderzoek, zelfs met de beperking dat alleen de zon onderwerp van de onderzoekingen zal uitmaken, te bespreken.

Ik heb een greep gedaan uit het werk dat op dit terrein, onder leiding van prof. dr. C. de Jager, wordt verricht in het Laboratorium voor Ruimteonderzoek in Utrecht. Het is onnodig op te merken dat de auteur slechts gefungeerd heeft als Uw verslaggever en dat alle lof voor het hier besproken werk toekomt aan de medewerkers van het Laboratorium voor Ruimteonderzoek in Utrecht en aan de Technisch Physische Dienst TNO-T.H. en het Laboratorium voor Technische Natuurkunde der T.H., beide in Delft, die aan de vele facetten van het besproken werk concrete vorm hebben gegeven.

---

6. Propagatie van lange golven en plasmatheorie[1])

door prof. dr. H. Bremmer, T.H. Eindhoven



Summary: *The propagation of long radio waves and plasma theory.*
The propagation of long radio waves through the wave guide consisting of the interspace between the earth and the ionosphere is briefly discussed. Low-frequency noise can be interpreted in terms of modes excited there by terrestrial thunderstorms. The propagation characteristics also depend on the earth's magnetic field, the influence of which is predominant for the 'whistlers' which constitute low-frequency disturbances propagating along the magnetic field lines in the exosphere. The 'whistlers' also originate from thunderstorms, in contrast with the 'V.L.F. (very low frequency) Emissions' which are due to the interaction of the exospheric plasma with solar particles, and which also propagate along the exospheric field lines.

The understanding of all these phenomena occurring at extremely low frequencies requires the extension of conventional 'Radio-Approximations' to 'M(agneto) H(ydro) D(ynamic) Approximations'; the former concern cold ionospheric or exospheric plasmas with a non-moving ionic background, whereas the latter also take into account the ion motion and, when necessary, the finiteness of the plasma temperatures.

In grote trekken kan men stellen dat het theoretische onderzoek van de propagatie van radiogolven voor de voor commerciële telecommunicatie gebruikte frequentiegebieden tot afsluiting is gekomen. Bij dit onderzoek kon een gelaagde, slechts van de hoogte boven de aarde afhangende structuur van de atmosfeer aangenomen worden, terwijl anderzijds het ionosferische plasma als koud beschouwd kon worden. De brekingsindex n wordt in dit geval gegeven door de formule

$$n^2 = 1 - \frac{\omega_{pl}^2}{\omega(\omega + i\nu)} \tag{1}$$

($\omega_{pl}^2 = Ne^2/m_e\varepsilon_o$ het kwadraat van de plasmafrequentie bij gebruik van MKS-eenheden, N = aantal elektronen per volume-eenheid, ω = cirkelfrequentie, ν = botsingsfrequentie die het aantal botsingen per tijdseenheid van een elektron met neutrale deeltjes weergeeft). In het geldigheidsgebied van deze formule is, naast de door de neutrale achtergrond bepaalde botsingsfrequentie ν, slechts de dichtheid van het plasma van belang, terwijl overigens de invloed van het plasma voor zeer hoge frequenties geheel verdwijnt. Dit is begrijpelijk omdat de voor het plasma karakteristieke verschijnselen zich met een veel langzamere tijdschaal afspelen dan deze zeer hoge frequenties. Toch bestaat er in dit opzicht een uitzondering, omdat slechts zeer hoge frequenties sterk gebundeld kunnen worden en een waarneembare terugverstrooiing van monochromatische energie door middel van de als zendertjes werkzame vrije elektronen kunnen bewerkstelligen. Het profiel van de verbrede spectraallijn van de naar de aarde terugkerende energie verschaft hierbij informatie over de elektronentemperatuur en de ionentemperatuur van het verstrooiende plasma, welke beide temperaturen in het lagere deel van de magnetosfeer dan merkbaar verschillend blijken te zijn. Aldus leveren experimenten met zeer hoge frequenties gegevens op over plasma-eigenschappen die speciaal voor het gedrag bij zeer lage frequenties van groot belang zijn.

In formule (1) werd de invloed van de ionen verwaarloosd. Wanneer men echter steeds lagere frequenties (lange golven) beschouwt, kan men het plasma nog lang als koud aannemen, maar moet men tenslotte toch ook de beweging van de ionen onder invloed van de invallende golf in aanmerking nemen. Bovendien wordt daarbij de aanwezigheid van het aardmagneetveld (met magnetische inductie B_o) steeds belangrijker en moet formule (1) bij verwaarlozing van de botsingseffecten vervangen worden door

$$n_{1,2}^2 = 1 - \frac{\omega_{pe}^2 + \omega_{pi}^2}{(\omega \pm \omega_{ce})(\omega \mp \omega_{ci})} \tag{2}$$

in het eenvoudigste geval van een golf, die zich in de richting van het aardmagneetveld voortplant. Hierin zijn ω_{pe} en ω_{pi} de plasmafrequenties voor resp. de elektronen en de positieve ionen, terwijl $\omega_{ce} = eB_o/m_e$ en $\omega_{ci} = eB_o/m_i$ de cyclotronfrequenties voor de elektronen en de ionen voorstellen, waarbij $\omega_{ce} > \omega_{ci}$. De beide plus- of min-tekens in (2) brengen de door het magneetveld veroorzaakte dubbele breking tot uitdrukking. Voor frequenties voldoende boven ω_{ci} mogen de ionen als stilstaand beschouwd worden en verkrijgt men door $m_i = \infty$ te nemen (zodat $\omega_{ci} = 0$ en $\omega_{pi} = 0$) opnieuw, bij afwezigheid van het aardmagneetveld, de formule (1). Men spreekt dan van de 'radiobenadering', in tegenstelling tot de 'MHD-benadering'[2]), die bruikbaar is voor frequenties van de orde van ω_{ci} en lager, en die verkregen wordt door in formule (2) $m_e = 0$ (zodat $\omega_e = \infty$) te stellen. In verband met de voor de ionosfeer geldende grootteorden van $\omega_{ce}/2\pi \approx 1{,}4$ MHz en $\omega_{ci}/2\pi \approx 0{,}8$ kHz kan men zeggen dat de overgang van 'radiobenadering' naar 'MHD-

---

[1]) Manuscript ontvangen 18 februari 1969.

[2]) MHD wordt hier gebruikt als afkorting van magneto-hydrodynamisch.

benadering' zich voltrekt bij frequenties van een grootte-orde van 3 kHz.

Terwijl dus voor alle met 'lange golven' verrichte experimenten de 'radiobenadering' voldoende is, kan men daarbij voorts de tussenruimte tussen aarde en ionosfeer als golfpijp beschouwen, althans voor zover men de invloed van het aardmagneetveld buiten beschouwing kan laten. Deze golven dringen namelijk zeer weinig in de ionosfeer door, zodat deze voor hen bij benadering, evenals het aardoppervlak, als scherp begrensd behandeld kan worden, eventueel met een oppervlakte-impedantie, die het eindige geleidingsvermogen in rekening brengt. De aanwezigheid van het aardmagneetveld maakt echter dat de ionosfeer voor voldoend lage frequenties 'doorzichtig' wordt voor de met de dubbele breking verbonden buitengewone straal. Dit laatste geldt ook voor de boven de ionosfeer gelegen magnetosfeer en maakt daarom aldaar de als 'whistlermode' bekende voortplanting langs de aardmagnetische krachtlijnen mogelijk.

Terugkerend tot de interpretatie van de ruimte tussen aarde en ionosfeer als golfpijp, merken we op dat daarbij het veld van een radiozender het meest geschikt gesplitst kan worden in 'modes' die door een resonantievoorwaarde vastgelegd worden. Deze drukt uit dat een sferische golf na een eenmalige reflectie tegen zowel het aardoppervlak als tegen de ionosfeer een faseverschil van een geheel aantal malen 2π moet verkrijgen ten opzichte van de overeenkomstige golf die deze reflecties niet heeft ondergaan. Elk veelvoud van 2π beantwoordt aan een individuele mode waarvan de voortplantingsrichting een zeer bepaalde, in het algemeen echter complexe, hoek maakt met het aardoppervlak. Omdat bij de bepaling van deze modes alleen de frequentie gegeven is, kan men hier spreken van richtingsquantisering.

Voor deze door een zender aangeslagen modes zal de amplitude in het algemeen exponentieel afnemen voor toenemende afstand in horizontale richting, zodat op enige afstand slechts een paar en tenslotte slechts één enkele mode van numeriek belang overblijft. Deze situatie is geheel verschillend van die bij de korte golven, alwaar een groot aantal modes niet of zeer weinig gedempt is tijdens het in horizontale richting voortgaan en dus niet bepaalde modes domineren; het aantal niet of zeer weinig gedempte modes is namelijk van de orde 2 h/λ wanneer h de hoogte van de ionosfeer boven de aarde voorstelt.

Daarentegen is voor de korte golven meer zinvol een ontwikkeling toe te passen waarvan de bijdragen beantwoorden aan geometrisch-optische stralen, die, na vertrek uit de zender, na een aantal heen- en weer-gangen tussen aarde en ionosfeer tenslotte het waarnemingspunt bereiken; de reden hiervoor is dat voor deze golven de fasen van de verschillende stralen bij aankomst sterk uiteenlopen. De overeenkomstige faseverschillen zijn voor de lange golven echter zeer gering. Een en ander maakt dat de ontwikkeling naar optische stralen met gegeven begin- en eindpunt, en met slechts door deze laatste bepaalde richtingen, voor de korte golven het best bruikbaar is, terwijl de ontwikkeling naar modes met uitsluitend door de resonantievoorwaarde bepaalde richtingen voor de lange golven meer aangewezen is.

De reeksontwikkeling naar modes zal dus voor lange golven, als gevolg van de verschillen in exponentiële demping bij horizontale voortgang, zeer snel convergeren. Dit verschijnsel is het meest opvallend voor de allerlangste golven, ook wanneer de invloed van het aardmagneetveld in rekening wordt gebracht. Voor de zeer lange golven (golflengte van de orde van 30 km) zal aldus tenslotte het veld door slechts één enkele mode benaderd kunnen worden. Voor deze zgn. Schumann-mode wordt de exponentiële dempingsfactor bij benadering in MKS-eenheden gegeven door

$$e^{-\frac{d}{2h}\cdot\frac{\pi c \varepsilon_0}{\lambda}\left(\frac{1}{\sqrt{\sigma_e}}+\frac{1}{\sqrt{\sigma_i}}\right)}$$

waarin d de afstand tot de zender, en σ_e en σ_i de geleidingsvermogens van de aarde en van de ionosfeer.

Men heeft hier vrijwel te maken met een TEM-mode waarvan het elektrische veld langs eenzelfde verticaal overal even groot, en tevens verticaal gericht is. De genoemde dempingsfactor kan begrijpelijk worden gemaakt wanneer men overweegt hoe de vanaf de zender in de golfpijp uitgestraalde energie in deze over een steeds groter dwarsdoorsnede $O = 2\pi\, a \sin\vartheta\; h$ (ϑ = hoekafstand tot de zender gezien vanuit het middelpunt van de aarde) van de golfpijp verdeeld wordt, terwijl daarbij het oppervlak $dO\perp = O{\cdot}a{\cdot}d\vartheta/h$, waardoorheen in het hoekinterval $d\vartheta$ energie naar de aarde en naar de ionosfeer kan weglekken, eveneens met de afstand ϑ toeneemt.

De verticale richting van het bij de Schumann-mode behorende elektrische veld past bij het door een bliksemschicht opgewekte elektromagnetische veld. Aldus wordt het begrijpelijk dat het bij onweersactiviteiten uitgestraalde lang-golvige veld als Schumann-mode zijn weg door de tussen aarde en ionosfeer gevormde golfpijp kan vinden. Inderdaad blijkt aldus de natuurlijke lang-golvige ruis aan de, gemiddeld genomen vrijwel permanente, onweersactiviteit in de tropische aardgordels toegeschreven te kunnen worden, d.i. aan dezelfde bron die ook de 'whistlers' doet ontstaan. In de bijpassende theorie bepaalt men het effect van de Hertzsche dipoolzender welks stroom een geïdealiseerde tijdafhankelijkheid heeft, die gegeven wordt door een Dirac-functie $\delta(t)$. Door middel van een Laplacetransformatie kan het bijbehorende veld dan afgeleid worden uit dat van de Schumann-mode die betrekking had op een bepaalde draaggolffrequentie. Op deze wijze vindt men voor het eerstgenoemde veld een som van eigentrillingen, waarvan de demping door de eindige waarden van de geleidingsvermogens σ_e en σ_i bepaald wordt. Bij afwezigheid van deze demping zouden de cirkelfrequenties van de eigentrillingen gegeven worden door $\omega_n = \frac{c}{a}\sqrt{n(n+1)}$, of ook $(c/a)\sqrt{n(n+1)}$, waarin a de aardstraal en n een geheel getal. Voor grote waarden van n betekent dit dat de $n$de eigentrilling ongeveer met n golflengten langs de gehele aardomtrek overeenkomt. Het gedempt zijn van de eigentrillingen heeft tot gevolg dat het spectrum continu wordt, met intensiteitsmaxima nabij de ongedempte eigenfrequenties. Op deze wijze kan het waargenomen ruisspectrum voor het frequentiegebied tussen ongeveer 1 en 50Hz kwalitatief en kwantitatief verklaard worden, terwijl de samenhang met onweersverschijnselen ook experimenteel aangetoond werd.

Voor de hier beschouwde frequenties is men reeds in het gebied van de 'MHD-benadering' gekomen, gekenmerkt door omstandigheden waarin de traagheid van de elektronen verwaarloosd, maar die van de ionen niet meer als oneindig groot beschouwd mag worden. Wanneer daarbij in overeenstemming met de uitdrukking (2) het plasma nog steeds als incompressibel aangenomen wordt, vindt men als eenvoudigste golfoplossing van de betreffende vergelijkingen een zuivere transversaal trillende golf die zich voortplant in de richting van een aanwezig statisch magneetveld (in onze beschouwingen het aardmagnetische veld B_0). Deze als Alfven-golf bekende oplossing heeft een voortplantingssnelheid $= B_0(\mu_0\rho)^{-0,5}$ (ρ = massadichtheid van het plasma), terwijl men zich deze bij geleidelijk afnemen van de frequentie ontstaan kan denken uit de van de 'radiobenadering' bekende buitengewone golf. Wanneer in de magnetosfeer Alfven-golven optreden kunnen deze voorts geïnterpreteerd worden als te behoren bij trillende krachtlijnen van het aardmagneetveld, die als gespannen snaren vaste uiteinden

hebben in hun snijpunten met het aardoppervlak. Het is mogelijk dat de als pulsaties aangeduide fluctuaties van het aardmagneetveld, die zich afspelen in een tijdschaal van de orde van een minuut, aldus als het gevolg van magnetosferische Alfvengolven verklaard kunnen worden. Hiermede is het einde aan de langgolvige kant bereikt van in de natuur voorkomende elektromagnetische golven.

De tot nu toe geschetste theorieën geven de indruk dat men bij het verklaren van radiowaarnemingen geen behoefte heeft aan meer fundamentele plasmatheorieën, die rekening zouden houden met de eindige compressibiliteit, viscositeit en dergelijke eigenschappen van het plasma. Men bedenke echter dat een zeer bepaald onderwerp uit deze theorieën, bekend als plasmabundelinteractie, wel van groot belang is voor het begrijpen van de zgn. 'v-l-f-emissions', dit zijn 'whistler'-achtige verschijnselen, waarvan de bron in plaats van op aarde in de magnetosfeer gelegen is. Men heeft hier te maken met lage radiofrequenties die ontstaan wanneer de uit geladen deeltjes bestaande zonnewind in de magnetosfeer binnendringt, en dan in wisselwerking treedt met het daar aanwezige plasma.

Een geïdealiseerd model voor deze omstandigheden gaat uit van twee in elkaar doordringende plasmabundels met verschillende snelheden. In een eerste benadering van het MHD-type kan men beide bundels nog als koud beschouwen en dienovereenkomstig een dispersievergelijking afleiden voor de golfvormige verstoringen die daarbij kunnen ontstaan. Men vindt dan dat de dispersiekromme van de combinatie van beide plasma's in het algemeen uit twee takken bestaat, die dicht gelegen zijn bij de afzonderlijke dispersiekrommen voor elk individueel plasma, behalve op bepaalde plaatsen alwaar de wisselwerking tussen beide plasma's blijkbaar het sterkst is. De bijbehorende frequenties, die in de 'v-l-f-emissions' waarneembaar worden, voldoen voor een met de snelheid u in de magnetosfeer invallende elektronenbundel aan de resonantierelatie $\omega - ku = \omega_{ce}$ en voor een overeenkomstige protonenbundel aan $\omega - ku = -\omega_{ci}$ (k = golfgetal). De opgewekte frequenties vindt men dan, tezamen met het bijbehorende golfgetal, door oplossing van de twee vergelijkingen met twee onbekenden, die ontstaan door de ene plasmavergelijking te combineren met de genoemde resonantievoorwaarde.

De hiervoor genoemde relaties betekenen dat invallende deeltjes de bij hen behorende cyclotronfrequenties uitstralen, doch dat men bij toepassing van deze resonantievoorwaarde rekening moet houden met de door het Doppler-effect bepaalde term ku. Bij afwezigheid van het aardmagneetveld kan de overblijvende betrekking $\omega = ku$ ook geïnterpreteerd worden als een analogie met een lopende golfbuis, waarin golven tot stand komen waarvan de fasesnelheid ω/k overeenkomt met die van de ingesloten deeltjes. In het laatste eenvoudigste geval blijken er bij gegeven bundelsnelheid van de invallende zonnewind twee frequenties opgewekt te kunnen worden, waarbij van de bijbehorende golfverstoringen de ene zich sneller en de andere zich langzamer dan de bundel voortplant. De invloed van het aardmagneetveld maakt dat elk van deze frequenties in een doublet wordt opgesplitst, zodat in totaal vier frequenties mogelijk worden.

Het feit dat men thans in staat is uitvoerige gegevens omtrent de plasmastructuur van de magnetosfeer te verkrijgen, in het bijzonder door de bepalingen van lokale elektronen- en ionentemperaturen uit de aan het begin genoemde verstrooiingsmetingen, maakt dat de magnetosfeer als natuurlijk plasma een interessant object is geworden voor theoretisch plasma-onderzoek. Het in aanmerking nemen van de eindige temperaturen verlangt ingewikkelder MHD-vergelijkingen, dan wel een toepassing van de strengere kinetische plasmatheorieën. Het aantal daarbij mogelijke golfpijpen wordt groter naarmate het model ingewikkelder wordt, aldus voor één enkel warm plasma leidend tot drie onafhankelijke golfsoorten; wanneer de golf zich niet toevallig in de richting van het statische magneetveld voortbeweegt, heeft men daarbij niet meer met zuiver transversale of zuiver longitudinale golven te maken. Wanneer men in de theorie van de 'v-l-f-emissions' met de eindige temperaturen rekening houdt, vindt men dat zelfs zes, in plaats van de eerder genoemde vier, verschillende frequenties door een invallende bundel opgewekt kunnen worden. In het algemeen verlangt aldus een meer gedetailleerde analyse van de in de magnetosfeer optredende verschijnselen de toepassing van strenger plasmatheorieën, doch men bedenke dat deze zelfde theorieën bij het onderzoek van laboratorium-plasma's gewoonlijk voor geheel andere numerieke parametervoorwaarden gebruikt worden: bij deze laatste onderzoekingen zijn zowel de temperaturen als de ionisatiegraad veel hoger dan in het geval van de magnetosfeer. Tenslotte vermelden we dat een niet-lineaire plasmatheorie gebruikt moet worden voor het bestuderen van de schokgolf die door de zonnewind aan de buitengrens van de magnetosfeer wordt opgewekt, terwijl het uit de ruimtevaart bekende 're-entry'-probleem (tijdelijke verbreking van radiocontact) rechtstreeks tot het onderzoek van het daarbij een rol spelende omringende plasma leidt.

Verkeerstechnische aspecten van intercontinentaal telefoonverkeer [1])

door ir. W. F. van Rookhuijzen, Centrale Directie PTT



Summary: *Traffic aspects of intercontinental telephone service.*
After a brief historical review, a survey is given of the existing cable and satellite connections between Europe and North America.

The author describes the world routing plan and the world numbering plan of the CCITT. Special attention is paid to the intercontinental relations of the Netherlands and to a 'pool' of circuits to the USA in which the Netherlands take part.

The paper concludes with some remarks on tariffs for intercontinental telephone calls and a vision on the future.

1. Inleiding

In deze voordracht wil ik U schetsen hoe een praktisch gebruik wordt gemaakt van de voor het intercontinentale telefoonverkeer beschikbare technische middelen, en welke plannen bestaan om in de toekomst een zo efficiënt mogelijk werkend wereldtelefoonnet te kunnen opbouwen.

2. Historie

Om dit op verantwoorde wijze te kunnen doen, wil ik eerst even met U in de historie duiken en U in gedachten meenemen naar 1866. In juli van dat jaar (nu dus ruim een eeuw geleden!) werd de eerste commerciële transatlantische *telegraafkabel* tussen Engeland en de Verenigde Staten van Amerika in dienst gesteld. Hiermee begon dus, op een tijdstip dat de telefoon nog moest worden uitgevonden, reeds de lange ontwikkelingsgang van het intercontinentale berichtenverkeer.

In het begin was deze ontwikkeling naar onze begrippen weinig spectaculair. Pas in 1902, toen Marconi er in slaagde een *radioverbinding* tussen Engeland en de Verenigde Staten tot stand te brengen, werd een nieuwe ontwikkelingsfase in het intercontinentale berichtenverkeer ingeluid. Het duurde echter nog tot 1927 eer de eerste radio*telefoon*verbinding, weer tussen Engeland en de Verenigde Staten, tot stand kwam, een verbinding waarvan tot kort voor de tweede wereldoorlog ook Nederland gebruik maakte. In september 1939 werd de eerste kortegolfverbinding tussen Amsterdam en New York geopend, waarmee Nederland een van de eerste West-Europese landen was met een eigen directe radiotelefoonverbinding met Amerika.

Door de komst van andere transmissiemiddelen, namelijk kabels en satellieten, zijn echter de radioverbindingen voor het telefoonverkeer enigszins in diskrediet geraakt, en op dit moment heeft Nederland nog slechts eigen radiotelefoonverbindingen met de Nederlandse Antillen, Suriname en Indonesië.

3. Kabels

Na de tweede wereldoorlog was de techniek zo ver gevorderd dat het mogelijk werd transatlantische *telefoonkabels* met onderzeese versterkers te fabriceren. De overdrachtskwaliteit en de betrouwbaarheid van dit transmissiemiddel waren aanzienlijk beter dan die van de korte-golfverbindingen. In 1956 kwam de eerste kabel, de TAT 1 (Trans Atlantic Telephone Cable 1), met landingspunten in Schotland en Newfoundland, in dienst.

De capaciteit van deze eerste transatlantische kabel was oorspronkelijk 36 kanalen, maar werd later opgevoerd tot 84 kanalen, door versmalling van de bandbreedte per kanaal en door toepassing van TASI (Time Assignment Speech Interpolation), een techniek waarbij gebruik wordt gemaakt van het feit dat bij een telefoongesprek telkens slechts door één van de partners wordt gesproken en het kanaal voor de andere richting dus ongebruikt is, en in principe voor een ander gesprek kan dienen.

Het stuk van deze kabel dat in de Atlantische Oceaan ligt, bevat 102 drietrapsversterkers. Defect raken van één van de in totaal 306 versterkerbuizen zou het gehele systeem buiten dienst stellen. Dat men de techniek echter redelijk onder de knie had blijkt wel uit het feit dat deze kabel nu, na meer dan tien jaar, nog steeds trouw zijn diensten vervult.

Een merkwaardig verschijnsel was dat toen men eenmaal de beschikking had over betrouwbare, het gehele etmaal beschikbare verbindingen, die vrij waren van atmosferische storingen, plotseling bleek dat er een grote latente verkeersbehoefte bestond. Als voorbeeld zij vermeld dat in het jaar van de indienststelling van de TAT 1 het telefoonverkeer tussen Engeland en de Verenigde Staten met ruim 70% toenam.

Als gevolg van deze enorme, min of meer onverwachte groei, moesten al spoedig nieuwe kabels worden gelegd. In 1959 werd de TAT 2 in dienst gesteld, een replica van het TAT 1-systeem, met als enig verschil dat het Europese landingspunt in Frankrijk lag. De TAT 2 werd weldra gevolgd door een rechtstreekse kabel van Schotland naar Canada, de CANTAT, een kabel van Schotland naar Canada via IJsland en Groenland, de SCOTICE-ICECAN-combinatie, de TAT 3 tussen de Verenigde Staten en Engeland en de TAT 4 tussen de Verenigde Staten en Frankrijk.

Het totale aantal kabelcircuits voor telefonie op de transatlantische route bedraagt nu 548, een aantal dat nog zou kunnen worden uitgebreid door toepassing van TASI op CANTAT, TAT 3 en TAT 4. In de tabel van fig. 1 is een overzicht gegeven van de in dienst zijnde transatlantische kabels, met hun capaciteit, jaar van indienststelling en eventueel capaciteitsvergroting.

Aan de andere zijde van de aardbol, waar de Grote Oceaan ook twee continenten scheidt, had men inmiddels echter ook niet stilgezeten. In 1957 werd door de AT&T, de Amerikaanse telefoonexploitant, een kabel gelegd tussen het verafgelegen Hawaii en het moederland. In 1964 kwam een kabelverbinding,

[1]) Voordracht gehouden voor een gezamenlijke vergadering van de Sectie voor Telecommunicatietechniek van het K.I.v.I. en het Genootschap van Ingenieurs der PTT op 15 februari 1968 te Delft. Aangekondigd in *De Ingenieur* 1968 nr. 3, blz. A 41.

Jaar	Kabel systeem of toevoeging speciale apparatuur	Transatlantische lijnen		
		Capaciteits-toename	Cumulatief totaal	Toename in percentage van bestaande capaciteit
1956	TAT-1	36	—	—
1959	TAT-2	36	72	100
1960	TASI + 3 kHz apparatuur op TAT-1 en TAT-2	96	168	133
1961	CANTAT	60	228	35.8
1962	3 kHz apparatuur op CANTAT	20	248	8.8
1962	SCOTICE/ICECAN	24	272	9.7
1963	TAT-3	128	400	47.0
1964	verbetering in TAT-3	10	410	2.5
1965	TAT-4	138	548	33.6

Fig. 1. Capaciteit van in dienst zijnde transatlantische kabels.

de TRANSPAC (Trans Pacific Cable) tussen de Verenigde Staten en Japan tot stand. Eveneens in 1964 kwam de kabelverbinding tussen Canada en Australië, de COMPAC (Commonwealth Pacific Cable) in dienst, die deel uitmaakt van het Britse round the world-kabelsysteem. Dit systeem werd later nog uitgebreid met verbindingen naar Z.O.-Azië en vandaar weer naar Australië, de zogenaamde SEACOM (South East Asia Commonwealth)-kabels.

In fig. 2 is een overzicht gegeven van de in dienst zijnde onderzeese kabels in 1967 (getrokken lijnen) en tevens een prognose van het wereldzeekabelnet zoals dit er, althans naar verwachting van de kabelfabrikanten, in 1980 uit zal zien. Als belangrijkste in Europa eindigende kabels springen hier in het oog de kabel van Zuid-Afrika naar Portugal, die reeds is gelegd en die volgend jaar in dienst zal gaan, en twee nieuwe transatlantische kabels.

4. Satellieten

Inmiddels was echter een ander transmissiemedium, min of meer letterlijk 'aan de horizon' verschenen: de kunstmatige aardsatelliet. Velen stonden hier in het begin wat sceptisch tegenover. Dat de zaak zelfs in het emotionele vlak werd getrokken moge blijken uit fig. 3, een afbeelding van een advertentie zoals die begin 1965 in verschillende technische tijdschriften werd gepubliceerd.

Nadat midden 1965 de eerste commerciële telecommunicatiesatelliet 'Early Bird', met een nominale capaciteit van 240 kanalen, in dienst ging, bleek al spoedig dat een satellietverbinding gemakkelijk in kwaliteit kon wedijveren met een kabelverbinding. Zelfs de zo gevreesde looptijd bleek nauwelijks bezwaren op te leveren. Inmiddels zijn dan ook reeds drie nieuwe satellieten in een baan om de aarde gebracht, waarvan 2 boven de Grote Oceaan en één boven de Atlantische Oceaan. De strijd om de voorkeur, kabels of satellieten, is nog niet geheel beslecht. Op het ogenblik wordt er gekibbeld tussen de COMSAT en de kabelmaatschappijen over het al of niet leggen van een nieuwe transatlantische kabel, de TAT 5[2]). Een argument tegen is, dat het leggen van deze kabel, die dank zij de inmiddels gevorderde techniek 720 telefooncircuits zal kunnen bevatten – ruim een verdubbeling dus van de bestaande capaciteit – de ontwikkeling van de nog jonge satelliettechniek in de weg zal staan. Een argument voor is dat men niet al zijn eieren in één mandje moet leggen en men dus als door een of andere oorzaak het ene medium uitvalt het andere nog ter beschikking heeft. De administraties, waaronder ook de Nederlandse, zijn in het algemeen van mening dat het gewenst is de benodigde lijnen fifty-fifty over de kabel- en satellietsystemen te verdelen.

5. Wereldrouteringsplan

Het zal U duidelijk zijn dat het leggen van een intercontinentale kabel of het in een baan brengen van een kunstmatige satelliet een kostbare aangelegenheid is. Voor de TAT 5-kabel, die ik zoëven noemde, wordt bijvoorbeeld een investeringsbedrag van 250 miljoen dollar vermeld.

In internationaal verband (CCITT) heeft men zich dan ook afgevraagd hoe een zo efficiënt mogelijk gebruik kan worden gemaakt van de beschikbare transmissiemiddelen, kabels en satellieten, en van de betrokken schakelcentra. Als resultaat van dit internationale overleg is een wereldrouteringsplan opgesteld. Dit plan heeft betrekking op internationaal en intercontinentaal automatisch en semi-automatisch telefoonverkeer. (Semi-automatisch telefoonverkeer wil zeggen dat de telefoniste in het uitgaande land de abonnee in het verwijderde land rechtstreeks kiest.) Met de invoering van het plan, dat men met de ontwikkeling van het wereldtelefoonverkeer gelijke tred zal moeten houden, is reeds een bescheiden begin gemaakt.

De structuur van het plan is als volgt. Internationale gesprekken worden naar het wereldtelefoonnet doorgeschakeld via een centrale, transietcentrale genaamd, die nationale en internationale lijnen met elkaar kan verbinden. Dit transietcentrum kan worden opgevat als broncentrale van internationale gesprekken. Een soortgelijk transietcentrum dient om inkomende internationale gesprekken door te schakelen naar het nationale net. Dit transietcentrum kan worden beschouwd als bestemmingscentrale van de internationale gesprekken. Tussen de bron- en de bestemmingscentrale ligt dus een deel van het wereldnet, dat kan bestaan uit rechtstreekse verbindingen, maar ook uit een serieschakeling van verbindingen tussen transietcentrales die zijn ingericht voor het doorschakelen van internationale lijnen.

Er zijn drie soorten transietcentrales, aangeduid met CT 1, CT 2 en CT 3, wat een afkorting is van 'Centre de Transit' respectievelijk van de eerste, tweede of derde categorie. Hierbij zijn in principe de transietcentra van de eerste en tweede categorie centrales die uitsluitend internationale lijnen doorschakelen en de transietcentra van de derde categorie centrales die het wereldnet met de nationale netten verbinden. In fig. 4, een schematische voorstelling van het wereldnet, is met dikke lijnen de 'ruggegraat' van dit net aangegeven, het zogenaamde laatste-keuzenet. Tussen de centra van de eerste categorie, die een continent of gedeelte daarvan bestrijken, bestaat een maasvormig net van verbindingen met lage stagnatiekans (een verbinding met een lage stagnatiekans bestaat, eenvoudig gezegd, uit een zodanig aantal lijnen, dat in de drukste tijd het zich aanbiedende verkeer voor ongeveer 99% kan worden verwerkt). Verder is ieder CT 1 via een verbinding met lage stagnatiekans stervormig verbonden met alle in zijn zone liggende transietcentra van de tweede categorie, die op hun beurt weer stervormig met de centra van de derde categorie in hùn zone zijn verbonden. In het algemeen bestrijkt een CT 2 één of enkele landen, terwijl een CT 3 zone altijd is beperkt tot één land of gedeelte daarvan. De weg van

[2]) Inmiddels is besloten dat deze kabel begin 1970 zal worden gelegd.

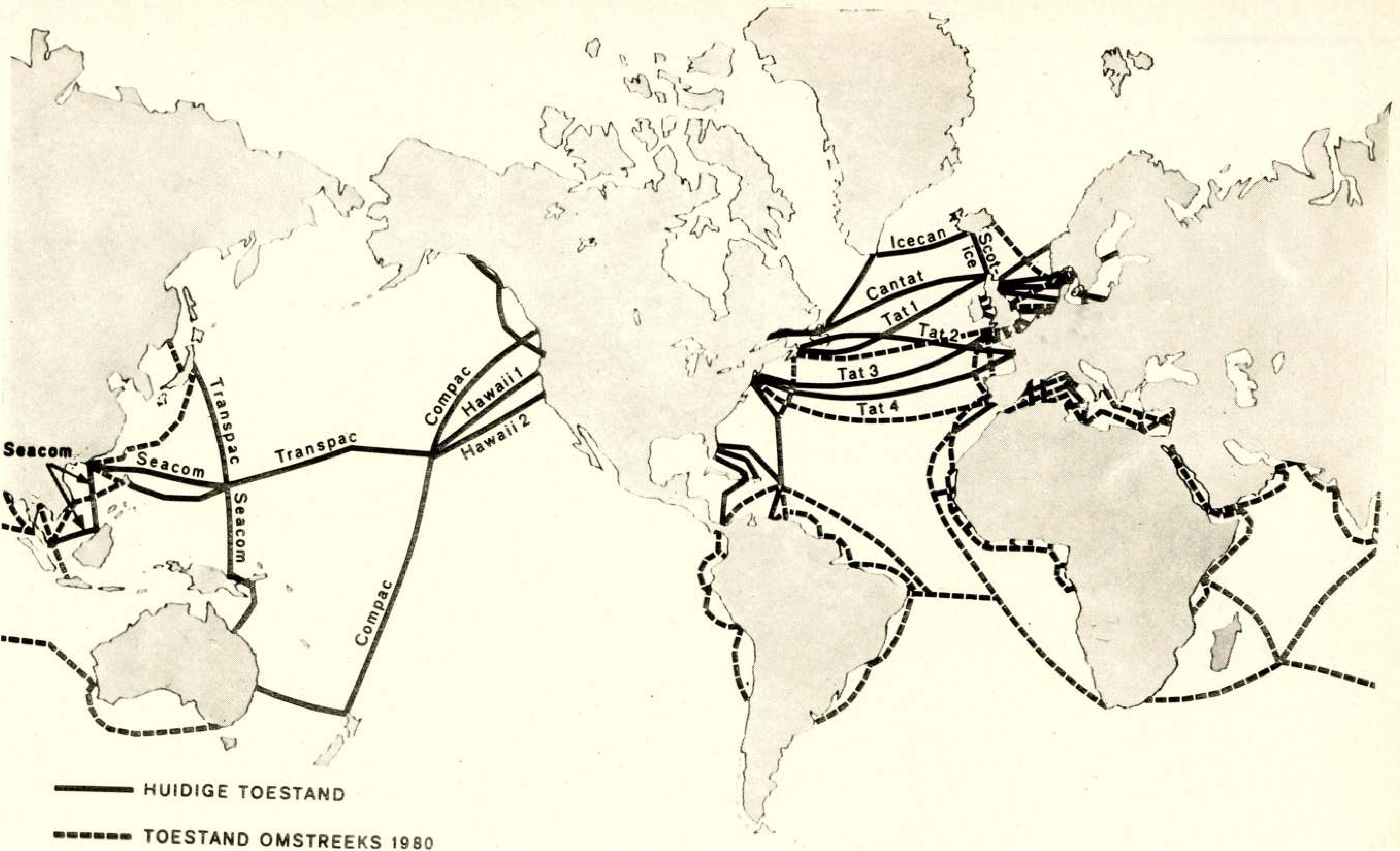


Fig. 2. Bestaande en geprojecteerde zeekabels.

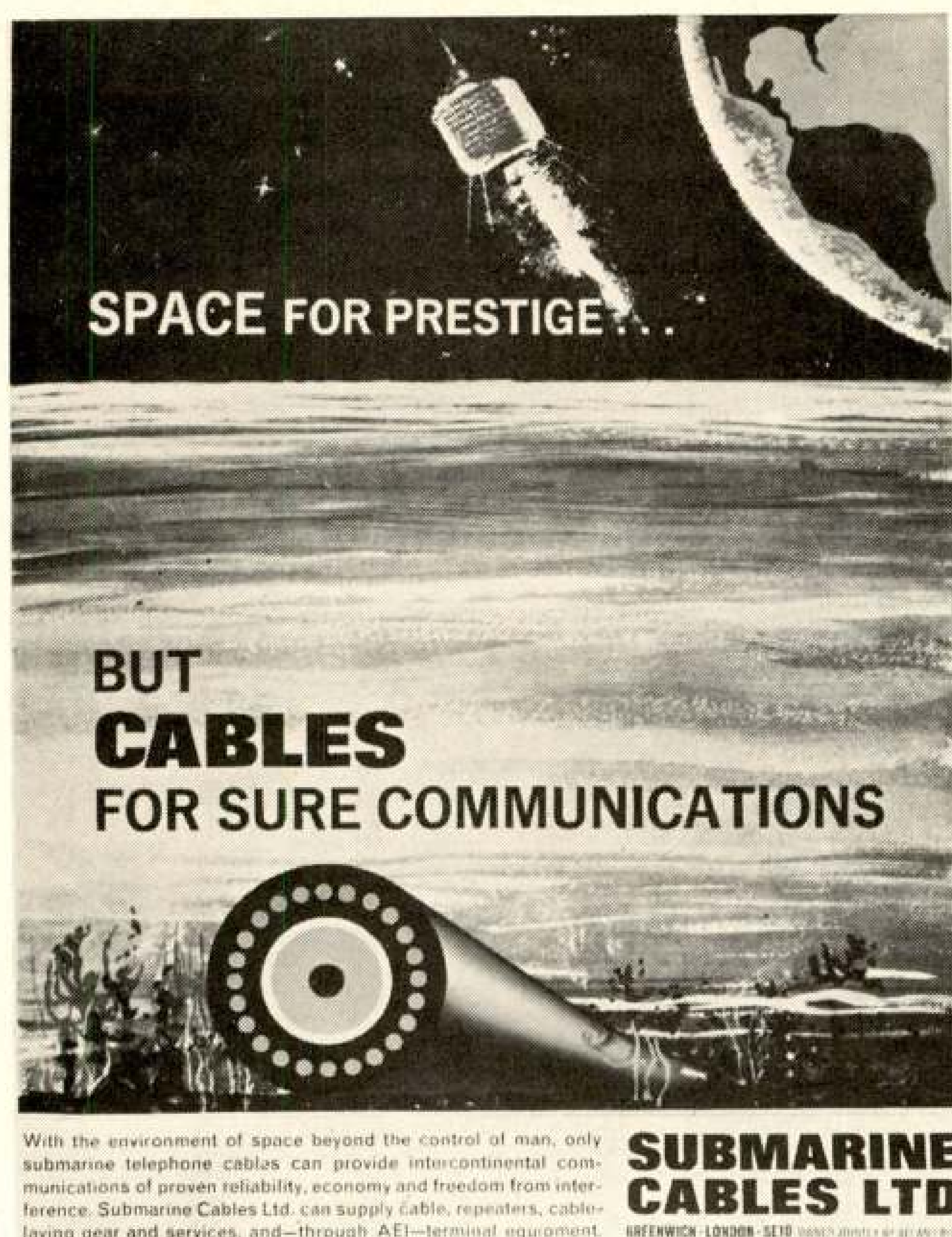


Fig. 3. Advertentie uit begin 1965 ter illustratie van de controverse kabels/satelieten.

het ene CT 3 naar het andere CT 3 via het met dikke lijnen getekende 'backbone network' wordt de theoretische laatste-keuze-route genoemd. Deze weg heeft geen overloopmogelijkheden meer. (Overlopen wil in de telefonie zeggen dat bij bezet vinden van alle lijnen van een bepaalde verbinding, automatisch geprobeerd wordt het gesprek langs een andere weg, wat dan meestal een omweg is, tot stand te brengen.)

In fig. 5 is aangegeven hoe de transietcentra van de eerste categorie en hun bijbehorende transietcentra van de tweede categorie over de aarde zijn verdeeld. Duidelijkheidshalve zijn de transietcentra van de derde categorie niet getekend, daar deze in vrijwel ieder land te vinden zullen zijn. Nederland heeft twee belangrijke internationale transietcentrales die tezamen als het Nederlandse CT 3 kunnen worden beschouwd, aangesloten op het CT 2 Frankfurt am Main. Frankfurt ligt op zijn beurt in de zone van het CT 1 Londen, dat met Parijs en Moskou de drie Europese transietcentra van de eerste categorie vormt. Daar iedere administratie zelf de categorie van haar transietcentrum mag bepalen, zal het duidelijk zijn dat de keuze CT 1, CT 2 of CT 3 niet altijd uitsluitend op technische overwegingen wordt gedaan, maar dat helaas nogal eens status- of politieke aangelegenheden een rol spelen. U ziet dit bijvoorbeeld duidelijk aan de twee transietcentra van de eerste categorie op Malakka die bij wijze van spreken op een steenworp afstand van elkaar liggen. Ook in Europa zijn drie transietcentra van de eerste categorie wel wat veel. Hier was het Parijs dat te elfder ure en op instigatie van enkele Frans sprekende Afrikaanse landen, eigenlijk vrij overbodig, CT 1 werd.

Met de dunne getrokken lijnen en de onderbroken lijnen is in fig. 4 bij wijze van voorbeeld aangegeven hoe het wereldnet, met als basis het altijd aanwezige 'backbone network', er in werkelijkheid uit zou kunnen zien. Tussen twee transietcentra van willekeurige orde kan altijd een bundel directe lijnen worden gevormd, hetzij met lage stagnatiekans zonder overloopmogelijkheid (getrokken lijnen), hetzij met een hoog rendement en met overloopmogelijkheid (onderbroken lijnen). De weg die een internationaal gesprek kan volgen van CT naar CT via bundels zonder overloop wordt de werkelijke laatste-keuze-route genoemd. In fig. 4 zijn enkele voorbeelden van dergelijke wegen aangegeven met dunne getrokken lijnen.

Om te voorkomen dat men door herhaald overlopen voor een tweede maal in dezelfde transietcentrale zou uitkomen, is nog een aantal regels opgesteld waaraan men zich bij de keuze van een routering te houden heeft. Op de details daarvan zal ik hier echter niet verder ingaan. Wel kan ik nog opmerken dat dit routeringsplan de mogelijkheid open laat op bepaalde tijden van de dag een verschillende routering te kiezen, door gebruik te maken van verbindingen in het op dat moment donkere deel van de aardbol. Door aldus lijnen te gebruiken waaraan door de plaatselijke tijd (nacht) regionaal geen behoefte bestaat, kan weer een efficiënter gebruik van het wereldnet worden verkregen.

6. Wereldnummerplan

Om de geschetste routering via een aantal internationale transietcentrales mogelijk te maken, is het noodzakelijk dat in elke transietcentrale aan de hand van het ontvangen nummer kan worden bepaald wat de bestemming van het gesprek is. Hiertoe is, weer in CCITT-verband, een wereldnummerplan samengesteld. In dit plan heeft elk land een 1-, 2- of 3-cijferig zgn. specifiek landnummer. Om het totale aantal cijfers dat voor een internationale verbinding moet worden gekozen binnen redelijke grenzen te houden, heeft men de landen met veel aansluitingen, en dus lange abonneenummers, een kort landnummer gegeven. Zo hebben de Verenigde Staten en de in het Amerikaanse nummersysteem geïntegreerde landen het specifieke landnummer 1, en heeft de USSR het landnummer 7. De overige landen met een groot en middelgroot aantal telefoonaansluitingen, hebben een 2-cijferig specifiek landnummer (bijvoorbeeld Nederland 31, Duitsland 49, België 32) en de 'kleintjes', zoals bijvoorbeeld Finland, Suriname en Portugal, een 3-cijferig.

Voor de landen waarnaar vanuit Nederland het verkeer reeds half- of volautomatisch wordt afgewikkeld, worden de nummers van het nummerplan al gebruikt. In ons land is de combinatie 09 gekozen als internationaal toegangsnummer. Door 09 te

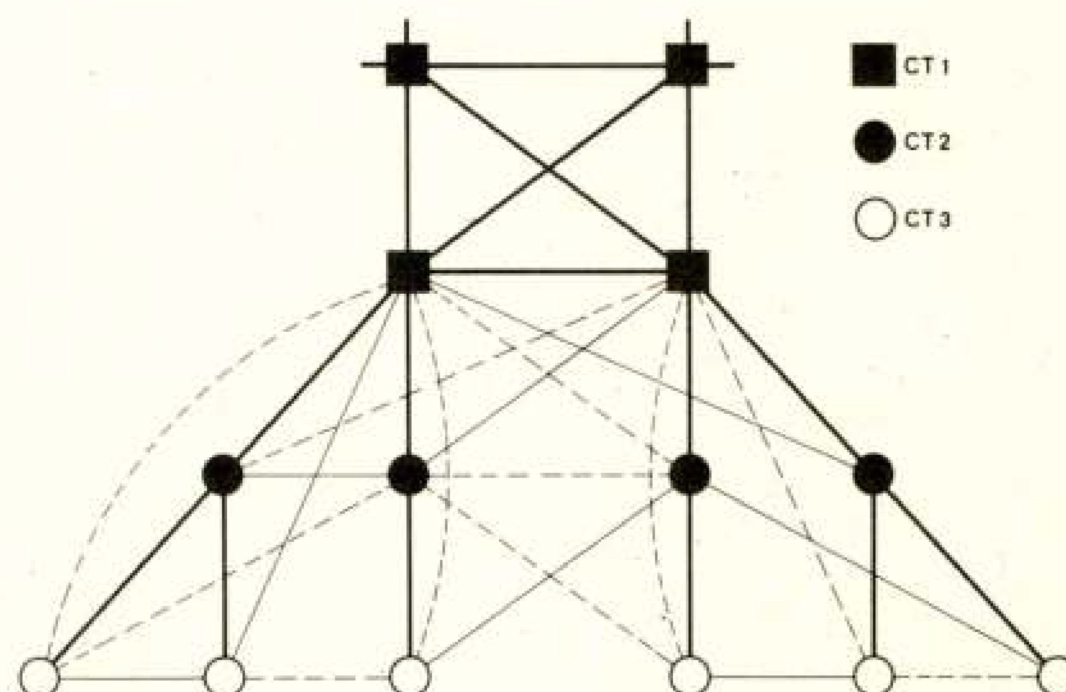


Fig. 4. Schematische afbeelding van het wereldtelefoonnet.

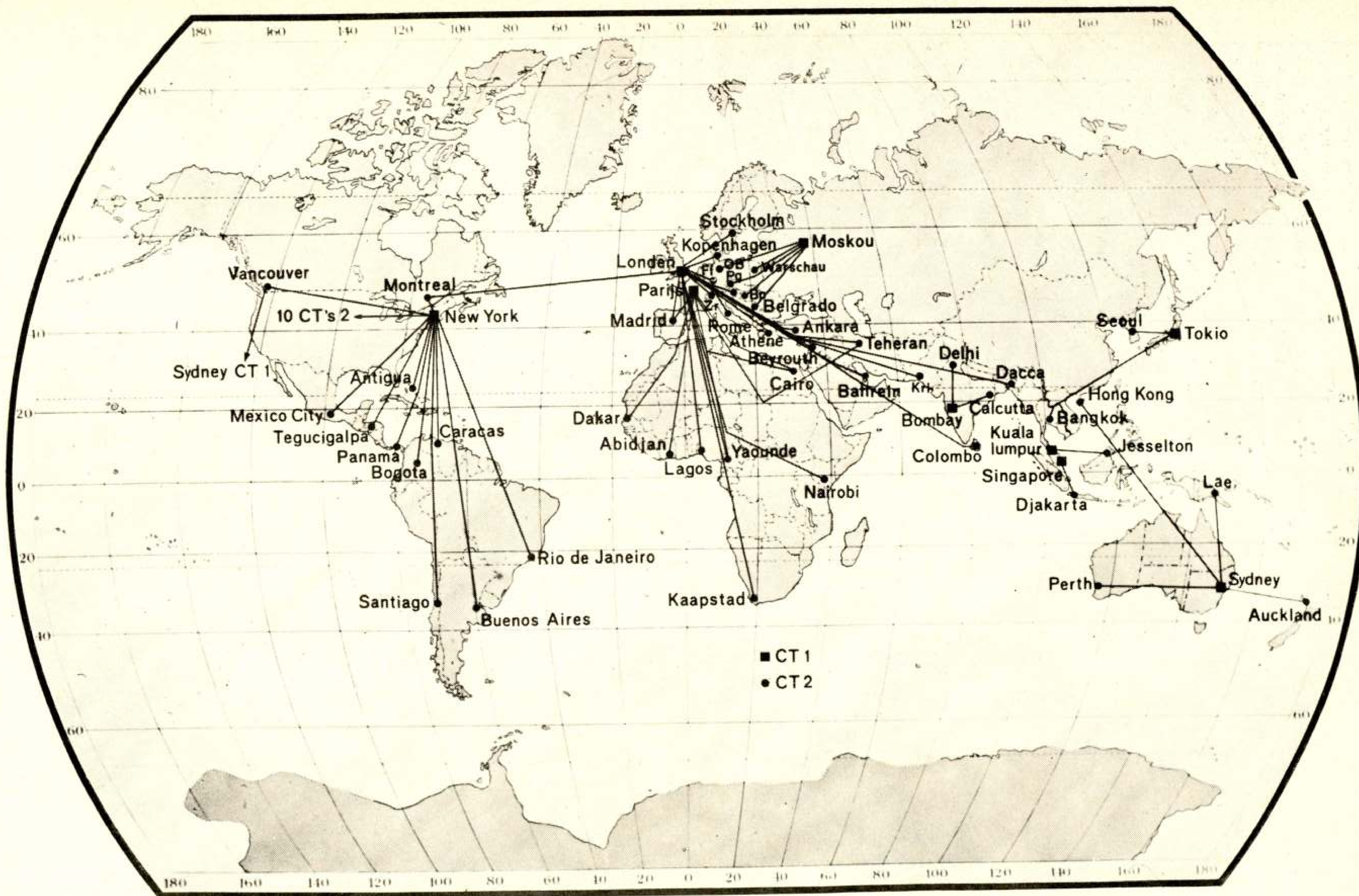


Fig. 5. Ligging van de belangrijkste transietcentra van het wereldrouteringsplan.

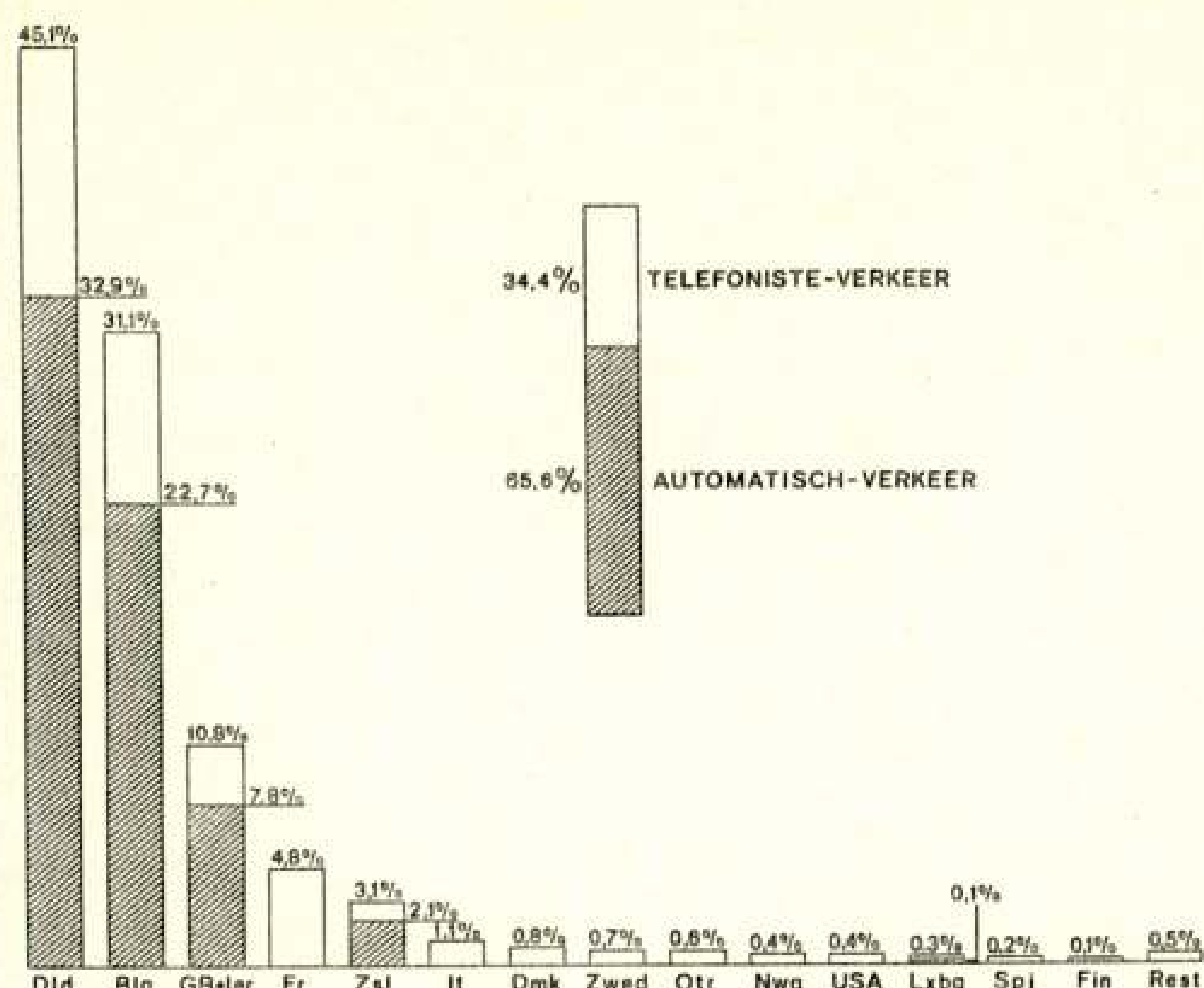


Fig. 6. Verdeling van het van Nederland uitgaande telefoonverkeer over de verschillende landen.

draaien geeft de abonnee dus te kennen dat hij internationaal wil gaan bellen. Het landnummer van een bepaald land bestaat uit dit toegangsnummer gevolgd door het specifieke landnummer, voor Duitsland dus bijvoorbeeld 0949. De specifieke landnummers zijn uiteraard over de hele wereld gelijk. De toegangscombinaties verschillen helaas van land tot land (in Duitsland bijvoorbeeld 00, in Frankrijk 19), zodat het idee dat men overal ter wereld voor dezelfde buitenlandse abonnee hetzelfde nummer kan draaien een beetje de mist ingaat.

7. Nederland

Tot nu toe hebben we de zaak van het intercontinentale verkeer uit algemeen oogpunt bekeken; nu zullen we eens gaan zien welke rol Nederland in dit wereldomvattende spel speelt.

In fig. 6 is in de vorm van een staafdiagram aangegeven hoe het van ons land uitgaande aantal internationale gesprekken (in 1967 waren dat er ruim 15 miljoen) is verdeeld over de verschillende landen. Door arcering is aangegeven welk deel van dit verkeer reeds door de abonnees zelf wordt gekozen, in totaal ruim 65%. Aan het overige deel komt dus nog een telefoniste te pas, die echter in circa 95% van de gevallen zonder tussenkomst van een buitenlandse telefoniste de betreffende abonnee kan kiezen (zogenaamd half-automatisch verkeer). Het gedeelte van het verkeer waarop speciaal onze aandacht is gericht, het 'buiten-Europese' verkeer, is eigenlijk de 0,4% die naar de Verenigde Staten gaat en nog een klein stukje van de 'rest' van 0,5%, namelijk het stukje daarvan dat naar niet-Europese landen is gericht. In totaal dus slechts ongeveer 0,6% van het totale aantal internationale gesprekken of wel ongeveer 0,03 ‰ van alle in Nederland gevoerde gesprekken. Dit betekent echter altijd nog een 90000 gesprekken per jaar of circa 300 per dag, waarvoor de abonnee gemiddeld zo'n 1200 maal zoveel betaalt als voor een lokaal gesprek. De totale inkomsten van het intercontinentale verkeer vormen dan ook ongeveer 1,5% van de totale inkomsten van de sector telefonie.

Ook het van Nederland uitgaande intercontinentale verkeer vertoont een sterke groei. In fig. 7 is in grafiekvorm het aantal gesprekken naar de Verenigde Staten over de afgelopen 7 jaar weergegeven. De duidelijk sterkere groei in 1964 en daarna, is het gevolg van de indienststelling in dat jaar van halfautomatisch verkeer naar Amerika en het in gebruik stellen van een zogenaamde 'pool' van lijnen naar dat land, waar ik straks nog op terug kom. Het blijkt dat de laatste 4 jaar ruim een verdubbeling van het aantal gesprekken is opgetreden, d.w.z. dat de jaarlijkse groei gemiddeld bijna 20% bedraagt.

8. 'Pool' van lijnen naar New York

Voor het intercontinentale telefoonverkeer heeft Nederland op dit moment de beschikking over 11 directe dubbelgerichte lijnen met de Verenigde Staten, namelijk 6 kabel- en 5 satellietverbindingen, en over de reeds eerder genoemde lijnen naar Suriname, de Nederlandse Antillen en Indonesië. Het verkeer naar de overige buiten-Europese landen wordt nog afgewikkeld via handbediende buitenlandse transietcentrales.

Voor het verkeer naar de Verenigde Staten heeft Nederland behalve de 11 directe lijnen, zoals ik al opmerkte, ook nog toegang tot een met België, Duitsland en Zwitserland gemeenschappelijke bundel van 55 lijnen tussen Frankfurt am Main en New York. Indien dus de directe lijnen alle bezet zijn treedt automatisch overloop op de gemeenschappelijke bundel op.

Een dergelijke 'pool'-vorming, die kan worden gezien als voorloper op het wereldrouteringsplan, heeft het duidelijke voordeel van een efficiënter gebruik van de beschikbare lijnen, in de eerste plaats door de bundeling en in de tweede plaats door het feit dat de tijden waarin het verkeer het drukst is in de verschillende deelnemende landen verschillend kunnen zijn.

9. Tarieven

Tenslotte wil ik nog een voor PTT belangrijk aspect van het intercontinentale verkeer belichten, namelijk de tarieven. Zoals U bekend zal zijn wordt hier te lande voor elk intercontinentaal gesprek een vaste aanslag ten laste gelegd waarvoor men maximaal 3 minuten mag spreken. Voor elke volgende minuut betaalt men dan nog eens 1/3 van het vaste basisbedrag. Een normaal

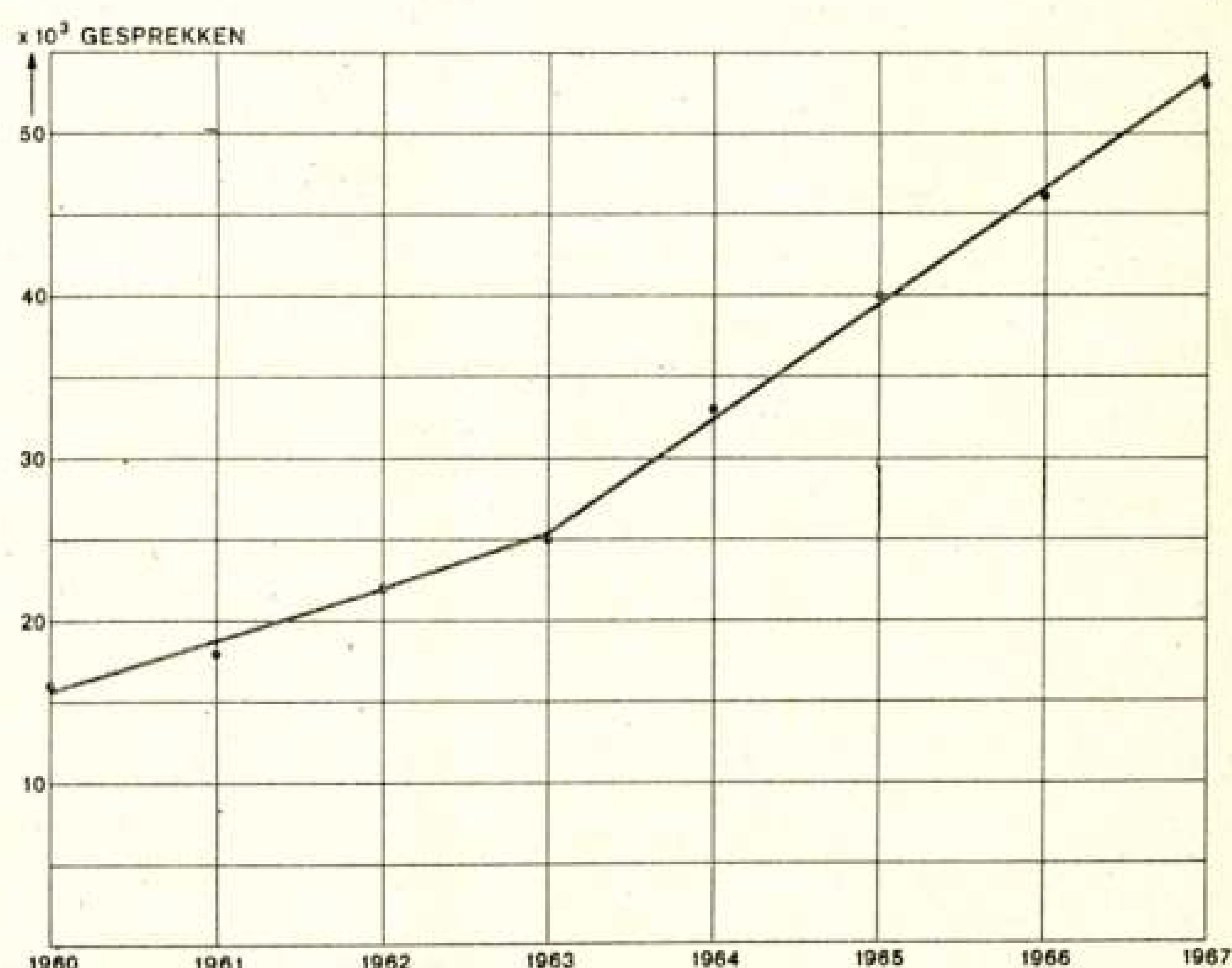


Fig. 7. Aantal gesprekken Nederland-USA in de jaren 1960 tot en met 1967.

gesprek van drie minuten met de Verenigde Staten kost bijvoorbeeld ƒ 32,40, met Japan ƒ 48,—.

Het zal U misschien verbazen te vernemen dat de gemiddelde duur van gesprekken over dergelijke grote afstanden vrij hoog is: met Amerika bedraagt die 8,5 min. In het algemeen kan men zeggen dat de gemiddelde gespreksduur met de afstand toeneemt. (Ter vergelijking: de gemiddelde duur van een interlokaal gesprek in Nederland is slechts 3 min., van gesprekken met bijv. Zwitserland 5,5 min.)

De gespreksopbrengsten worden volgens vaak nogal ingewikkelde afspraken en regels verdeeld over de landen die aan de totstandkoming van het gesprek hebben meegewerkt. Van bijvoorbeeld de ƒ 32,40 voor een normaal gesprek met de Verenigde Staten krijgt Nederland 48,90% en Amerika 51,10%. Dit is dan nog een eenvoudig geval, waarbij slechts twee landen betrokken zijn. Tussen haakjes zij opgemerkt dat dergelijke afspraken nog wel eens een ernstige belemmering zouden kunnen vormen bij het verkrijgen van een optimaal en zo efficiënt mogelijk werkend wereldnet.

De vaste verbindingen via kabel of satelliet die Nederland met de Verenigde Staten heeft, worden gehuurd of gekocht. Een circuit in de TAT 4 kost 100000 dollar per jaar. Daar de lijnen dubbelgericht zijn betalen Nederland en de AT&T ieder de helft van dit bedrag, waarna dan de opbrengsten weer volgens de zoeven genoemde sleutel worden verdeeld.

In de toekomst zullen door het leggen van kabels en het in een baan brengen van satellieten van steeds grotere capaciteit, de huur- of koopbedragen van de lijnen en daarmee de gesprekskosten naar verwachting belangrijk omlaag gaan.

10. Toekomstverwachtingen

Na begonnen te zijn met een blik in het verleden te werpen, lijkt het gepast te besluiten met het aanroeren van enkele toekomstverwachtingen. Door de goede transmissiekwaliteit van kabel- en satellietverbindingen is de toepassing van geavanceerde signaleringssystemen mogelijk geworden, waardoor de telefoniste in het uitgaande land rechtstreeks de verwijderde abonnee kan kiezen. Dit is nu al mogelijk in vrijwel het gehele Noord-Amerikaanse nummergebied, waaronder ook Canada en Mexico vallen. Verwacht mag worden dat dit in de komende jaren zal worden uitgebreid tot vele andere landen waar de telefonie de kinderschoenen ontgroeid is. (Zolang namelijk het nationale net van een bepaald land niet grotendeels is geautomatiseerd, heeft halfautomatisch verkeer natuurlijk weinig zin.) Voor het komende jaar staan Zuid-Afrika en Israël op het programma.

In de wat verdere toekomst kan dan ook worden gedacht aan geheel automatisch wereldverkeer. De stap van half- naar volautomatisch verkeer is zuiver technisch gezien niet zo groot. Het voornaamste probleem is: hoe breng ik de abonnee een en ander dan in rekening. Zoals U bekend zal zijn worden de kosten voor nationale en internationale automatische gesprekken de abonnee via zijn gesprekkenteller in rekening gebracht. Om transmissietechnische redenen is het maximum aantal impulsen dat aan een gesprekkenteller kan worden toegevoerd circa twee per seconde. Eén impuls ofwel stapje van de teller betekent een rekening van zeven cent. Per drie minuten kan dus bij deze impulsprijs maximaal $180 \times 2 \times ƒ\,0{,}07 = ƒ\,25{,}20$ in rekening worden gebracht, juist niet voldoende voor een normaal gesprek met de Verenigde Staten. Verhoging van de impulsprijs of verlaging van de tarieven moet hier uitkomst brengen.

Verder zijn er vanzelfsprekend nog wel wat exploitatieve problemen op te lossen. Een hiervan is dat bij abonneeverkeer de stagnatiekans van de bundel lijnen kleiner moet zijn dan bij telefonisteverkeer, zodat er voor eenzelfde verkeersintensiteit meer lijnen nodig zijn.

Een belangrijk aspect in het voordeel van automatisering van het verkeer is dat, zoals in het verleden is gebleken, het verkeer dan sterk toeneemt. Handel en industrie zijn gebaat bij een snelle communicatiemogelijkheid en aangenomen mag worden dat indien deze mogelijkheid aanwezig is de zaken zodanig bevorderd worden dat hierdoor het telefoonverkeer weer wordt gestimuleerd.

Ik hoop U hiermee in het kort niet alleen een inzicht te hebben gegeven in de problemen die met het 'wereldwijde' telefoonverkeer samenhangen, maar ook in de vrijwel onbeperkte mogelijkheden die met de huidige stand van de techniek op dit gebied bereikt kunnen worden.

Literatuur

B. M. Dawidziuk (STC): The expanding role of submarine cable systems in international communications. Paper presented at 1st Telecommunication Symposium held at Lisbon in April 1967.

N. J. M. Biezen: De tarieven voor telefoongesprekken met USA. Tijdschrift voor posterijen, telegrafie en telefonie, 75e jaargang, nr. 3, februari 1967.

I. A. Newstead (Australian Post Office): Evolution of the international routing plan. Paper presented at the ITU world-plan committee meeting, Mexico City, October/November 1967.

Telecommunications Report, Volume 33, no. 47, November 6, 1967.

Korte technische berichten

Intelsat IV

Een aanzienlijke kostenverlaging van het trans-atlantische telefoonverkeer via satellieten mag volgens de heer John A. Johnson, vice-president van de Communication Satellite Corporation (COMSAT), worden verwacht bij het in gebruik nemen van de nieuwe telecommunicatiesatelliet INTELSAT IV in 1971. Hij deelde dit mede tijdens een interview op de Internationale Lucht- en Ruimtevaartsalon te Parijs (28 mei – 8 juni 1969). Op deze salon werd een model op ware grootte van deze satelliet geëxposeerd.

In 1965 bedroegen de directe kosten voor een telefoonkanaal via de 'Early Bird' per jaar 64000 dollar, hierbij niet inbegrepen de kosten voor het grondstation en aansluitende grondverbindingen. De COMSAT verwacht dat deze kosten in 1975 nog slechts 10000 dollar per kanaal per jaar zullen bedragen. Terwijl de op dit moment in gebruik zijnde INTELSAT III 1200 telefoongesprekken of vier TV-programma's gelijktijdig kan overdragen zal de INTELSAT IV 6000 telefoongesprekken of 12 kleuren-TV-programma's gelijktijdig kunnen verwerken.

Uniek noemde de heer Johnson de overeenkomsten die zijn afgesloten om het ontwerp en de bouw van de nieuwe satelliet

te realiseren. Het INTELSAT-consortium, waartoe 68 landen behoren, heeft voor een bedrag van meer dan 72 miljoen dollar een contract hiertoe met Hughes Aircraft Company getekend in oktober 1968. Genoemde maatschappij heeft zeer belangrijke delen van het project uitbesteed bij drie Europese firma's te weten AEG-Telefunken, British Aircraft Corporation en Thomson-Houston-CSF. AEG-Telefunken levert bijvoorbeeld de complete telecommunicatie-apparatuur voor één van de satellieten en de voor twee satellieten benodigde 100000 zonnecellen met de bijbehorende testapparatuur.

De eerste satelliet van dit type zal begin 1971 met behulp van een Titan IIIb/Agena-raket in een parkeerbaan op een hoogte van 36000 km worden geplaatst. Met een hoogte van 5,33 m, een doorsnede van 2,44 m en een startgewicht van 1110 kg is de INTELSAT IV op dit moment de grootste telecommunicatiesatelliet ter wereld.

AEG-Presse Information pri 1038, 4/6/'69

'Pacemaker' opgebouwd uit dunne-filmcircuits

In opdracht van Devices Inplants Ltd. werd door de Components Group van ITT in Engeland een 'cardiac pacemaker' gebaseerd op dunne-filmtechnologie ontwikkeld. 'Pacemakers' – elektronische schakelingen die met behulp van elektrische impulsen het tempo van het menselijk hart beïnvloeden – worden thans op ruime schaal bij hartpatiënten toegepast. Daar zij in het lichaam van de patiënt worden aangebracht dienen zij een zeer hoge betrouwbaarheid te bezitten in combinatie met een zo laag mogelijk energieverbruik.

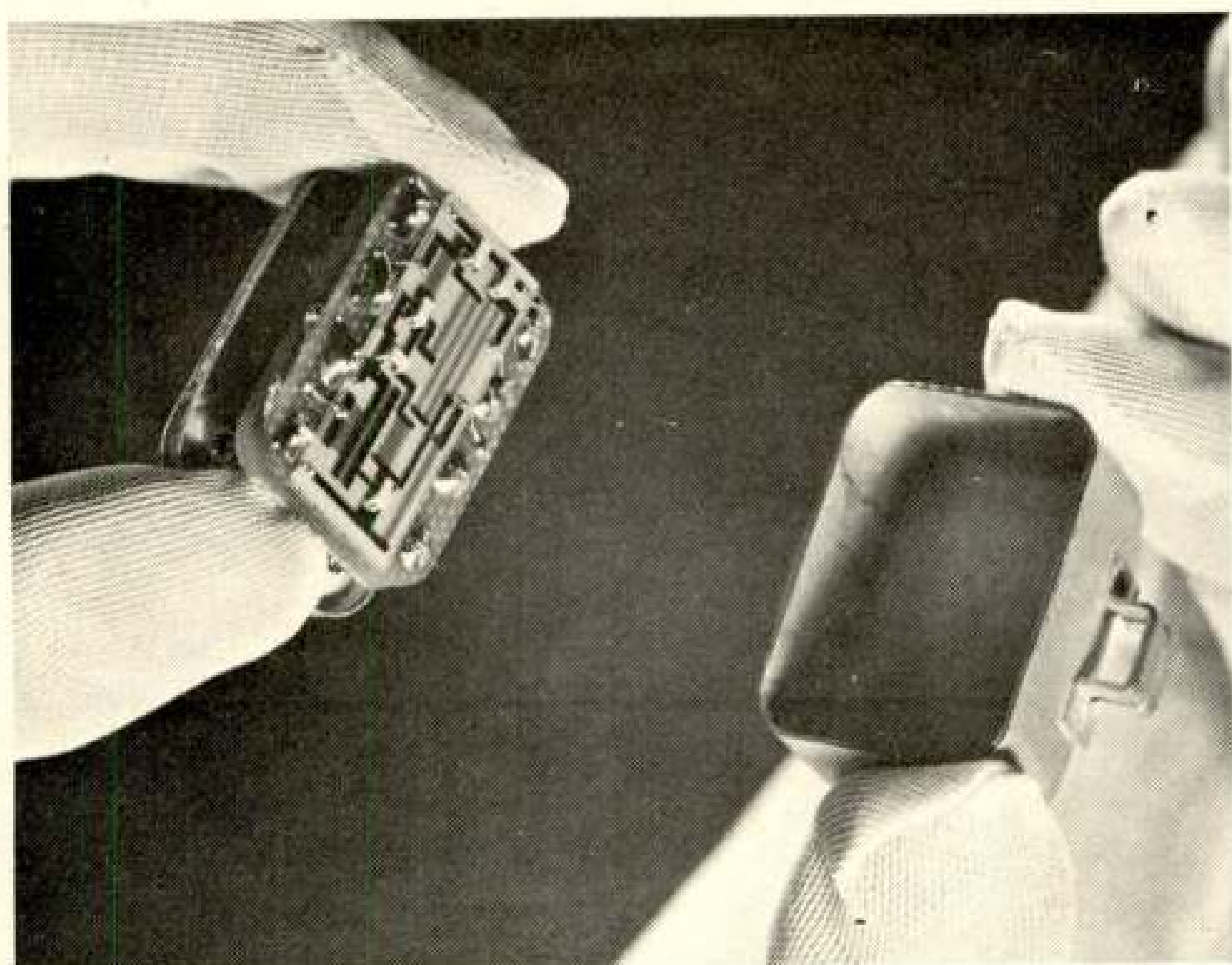


Fig. 1. Pacemaker gebaseerd op 'dunne film'-technologie.

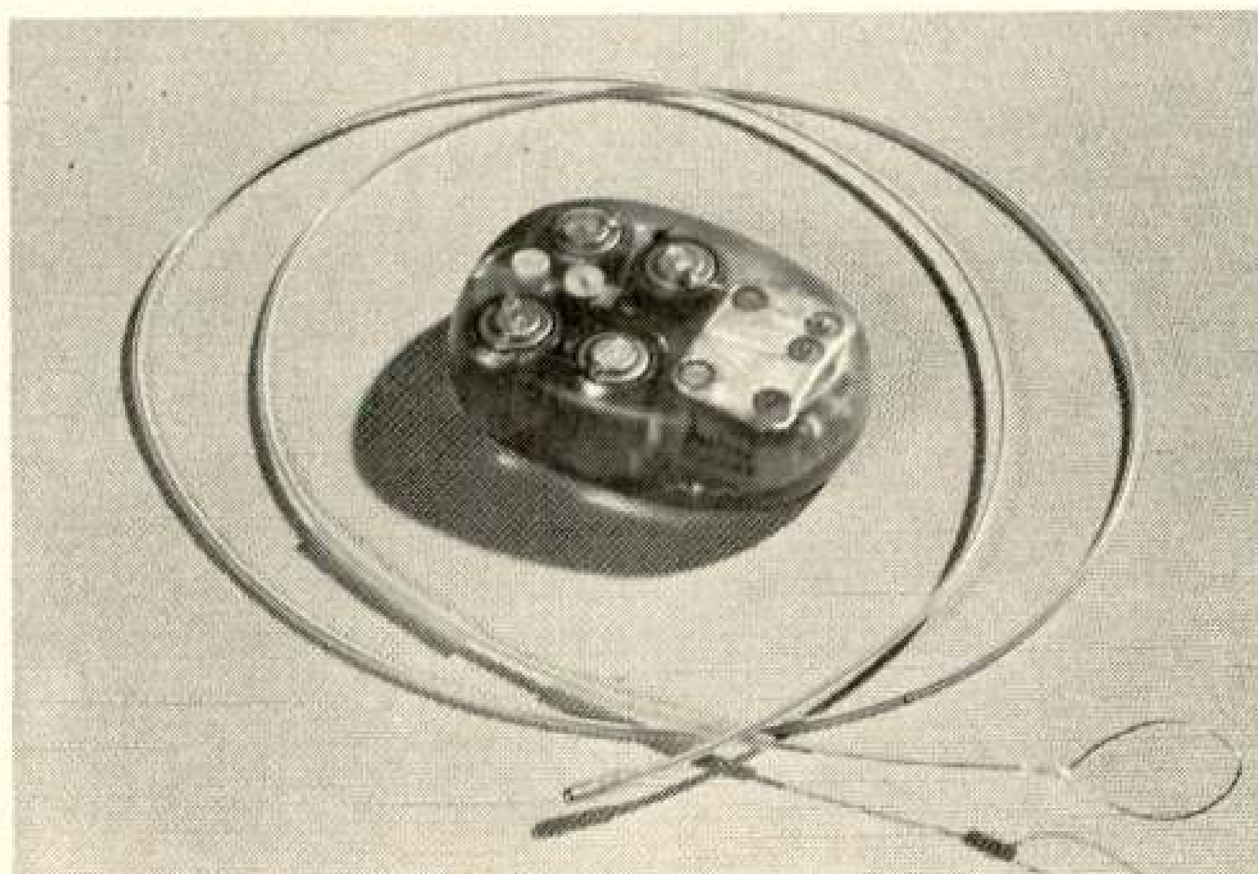


Fig. 2. Pacemaker met batterijen.

De geïntegreerde circuittechnologie komt in de eerste plaats op grond van de aan deze technologie inherente hoge betrouwbaarheid in aanmerking om in 'pacemakers' te worden toegepast. De geringe afmetingen van dit soort schakelingen vormen een bijkomstig voordeel. Testresultaten hebben aangetoond dat de ontwikkelde geïntegreerde circuits een factor 10 verbetering geven in de betrouwbaarheid vergeleken met 'pacemakers' opgebouwd uit discrete miniatuurcomponenten van de allerbeste kwaliteit.

De ontwerpers hebben in de eerste plaats gestreefd naar een schakeling met een zo laag mogelijk energieverbruik, waarmee passieve componenten met zeer kleine toleranties – nodig voor de dynamische regeling – konden worden gerealiseerd. Dunnefilmcircuits bleken beter aan deze eisen te voldoen dan monolithische schakelingen.

Fig. 1 toont het hermetisch afsluitbare metalen doosje waarin het circuit wordt ondergebracht. Samen met de batterijen wordt het doosje vervolgens ingekapseld in epoxyhars (zie fig. 2). Men verwacht dat deze wijze van verpakken van de 'pacemaker' een goede bescherming zal geven tegen van buiten komende radio-interferentie en tegen het binnendringen van lichaamsvocht in de schakeling, factoren die in het verleden de oorzaak zijn geweest van het tot stilstand komen van 'pacemakers'.

ITT News Release nr. 1126 E, 28/3/'69

Miniatuur alfa-numeriek-tableau

Door de Standard Communication Laboratories, een Britse ITT-vestiging, is een tableau ontwikkeld, dat bestaat uit 35 lampjes gerangschikt in een 7 × 5-matrix van 10 mm bij 7 mm. Een enkel lampje meet 0,6 mm in het vierkant; bij een spanning van 1,7 V en een stroom van 50 mA bedraagt de lichtsterkte 0,086 cd/cm^2. Het uitgezonden licht heeft een golflengte van 6600 Å – 6800 Å (rood) met een bandbreedte van slechts 160 Å.

De basis voor de lampenmatrix bestaat uit een GaAs-kristal waarop met behulp van epitaxiale opdampingstechnieken een kristallaag van Ga(AsP) met seleniumverontreiniging is aangebracht. Diffusie van zinkdamp werd toegepast om de halfgeleiderdiode te maken, die het actieve element van de lamp is. De verbindingen van de lampen naar de buitenzijde van de matrix zijn opgedampt.

Een dergelijke lampenmatrix blijkt zeer schokbestendig en betrouwbaar te zijn. De lampen hebben levensduurtesten van meer dan 7000 h zonder uitval en met slechts zeer kleine veranderingen in de karakteristieken doorstaan. De aanschakeltijd bedraagt ongeveer 10 ns. Genoemde eigenschappen gecombineerd met de grote helderheid – de lampenmatrix is ook bij sterke kamerverlichting goed afleesbaar – en de kleine afmetingen doen verwachten dat dergelijke lampentableaus vele toepassingen zullen vinden. Zij zijn echter nog niet in de handel verkrijgbaar.

ITT Persbericht nr. 369. 11/4/'69

Nieuw magnetisch materiaal

Raytheon maakt melding van de ontwikkeling van een materiaal, waarmee permanente magneten kunnen worden vervaardigd sterker dàn van enig ander materiaal. Cobalt en samarium vormen de basis van dit materiaal. Het is viermaal sterker dan de zogenaamde 'alnicos' en tweemaal sterker dan platinum-cobalt.

De sterkte van magnetische materialen wordt veelal uitgedrukt in een energieprodukt, een waarderingsgetal, waarin zowel rekening wordt gehouden met het remanent magnetisme na het verwijderen van het magnetiserende veld als met de wijze waarop het gemagnetiseerde materiaal bestand is tegen een ontmagnetiserend veld. Voor samarium-cobalt-magneten bedraagt dit energieprodukt 20×10^6 gauss-oersted, voor ferrieten ongeveer 3×10^6, voor 'alnicos' 5×10^6 en voor platinum-coblat 10×10^6.

Bovendien is het nieuwe materiaal goed bestand tegen hoge temperaturen; het kan bijvoorbeeld zonder bezwaar in microgolfbuizen toegepast worden bij werktemperaturen van 265 °C, onder welke omstandigheden het energieprodukt van bijvoorbeeld het veel toegepaste platinum-cobalt tot 50% van de oorspronkelijke waarde is gedaald.

Behalve dat ten gevolge van het hoge energieprodukt een belangrijke gewichtsbesparing kan worden gerealiseerd, is het nieuwe materiaal een factor 20 goedkoper dan bijvoorbeeld platina-cobalt. Platina wordt in beperkte hoeveelheden voornamelijk in Zuid-Afrika en Rusland gevonden, samarium is een vrij algemeen voorkomend element.

Raytheon Press Release.

Net voor informatieverwerking in de Verenigde Staten

General Electric heeft bekend gemaakt plannen te hebben om 34 miljoen dollar te investeren in een net voor informatieverwerking, dat alle grote steden van de Verenigde Staten in een communicatie- en computersysteem omvat en waarop men zich voor 'on-line'-dienstverlening kan abonneren. Het eerste deel van het net bevindt zich op dit moment in de laatste testfase en heeft de stad Cleveland in Ohio als centrum. In de herfst van 1969 zal de plaatselijke dienstverlening aanvangen voor abonnees in bijna 40 stedelijke gebieden.

De huidige markt voor 'on-line'-computerservice wordt door General Electric op 150 miljoen dollar geschat en zal volgens de prognoses in 1975 1,5 tot 2 miljard dollar bedragen.

Overwogen wordt het Amerikaanse net via een communicatie-satelliet aan te sluiten op geselecteerde stedelijke gebieden in Europa. Een aantal gebieden wordt daartoe thans geëvalueerd. Na het draaien van een plaatselijk telefoonnummer zal in de toekomst de Europese abonnee rechtstreeks met het Amerikaanse net zijn verbonden.

Persinformatie Bull General Electric, 11 juni 1969

Varia

AGARD lezingenserie 'Applications Technology Satellites', 27 en 28 oktober 1969, Aken, Duitsland.

De 'Advisory Group for Aerospace Research and Development AGARD-NATO' organiseert in samenwerking met het 'Avionics Panel and the Consultant and Exchange Programme of AGARD' haar 34e lezingenserie onder bovenstaande titel. Behalve in Aken worden deze lezingen ook gegeven in Reading, Engeland (30 en 31 oktober 1969) en in Ottawa, Canada (3 en 4 november 1969).

Het programma vermeldt de volgende punten:
1e dag: Introduction by the Lecture Series Director – Spacecraft Technology.

Session – Small Station Communications by Satellite
- SHF Small Terminal Design and Results
- Satellite VHF Experiments with the Research Ships Meteor and Gauss
- Satellite VHF Experiment in Data Collection, Marine Communications, Time Dissemination and other Small Terminal Application
- Design Considerations for a 8 GHz Satellite Communication Ground Terminal

Session 2 – Use of Satellites in Meteorology
- Satellite Meteorological Instrumentation and Sensors Geosynchronous Orbit Observation Results

2e dag:
- Satellite Meteorology
- The System Concept of Meteorological Satellites

Session 3 – Navigation and Traffic Control using Satellites
- Satellite Navigation Experiments and Results
- Aircraft VHF Communications, Experiments and Results
- Plans for Experiments in Navigation and Traffic Control
- Le Système Doiscure

Session 4 – Tactical Applications of Satellite Communications
- Organization and Results of the NATO-TACSATCOM Programme
- Conclusions

Deelname aan deze lezingenserie is gratis en staat open voor alle geïnteresseerde wetenschapsmensen uit de NATO-landen. Voor inschrijfformulieren en nadere inlichtingen stelle men zich in verbinding met: Nederlandse Delegatie bij de AGARD t.n.v. hr. A. H. Geudeker, p/a Stichting NLR, Kluyverweg 1, Postbus 126, Delft. Tel.: (01730)-22680.